

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SOELAINE RODRIGUES ASCARI

MAFINT: MODELO AFETIVO DE INTERVENÇÃO TUTORIAL A PARTIR DA
IDENTIFICAÇÃO DO ERRO DO APRENDIZ EM SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

CURITIBA PR

2021

SOELAINE RODRIGUES ASCARI

MAFINT: MODELO AFETIVO DE INTERVENÇÃO TUTORIAL A PARTIR DA
IDENTIFICAÇÃO DO ERRO DO APRENDIZ EM SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação no Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná.

Área de concentração: *Ciência da Computação*.

Orientador: Prof. Dr. Andrey Ricardo Pimentel.

Coorientador: Prof. Dr. Ernani Gottardo.

CURITIBA PR

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE – SIBI/UFPR

A811m Ascari, Soelaine Rodrigues

Modelo afetivo de intervenção tutorial a partir da identificação do erro do aprendiz em sistemas tutores inteligentes [recurso eletrônico]/ Soelaine Rodrigues Ascari Mafint - Curitiba, 2021.

Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração: Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Andrey Ricardo Pimentel.

Coorientador: Prof. Dr. Ernani Gottardo.

1. Sistemas tutoriais inteligentes. 2. Ambiente virtual de aprendizagem. 3. Programação de sistema (computador). I. Pimentel, Andrey Ricardo. II. Gottardo, Ernani. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDD 005.1

Bibliotecária: Vilma Machado CRB9/1563

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em INFORMÁTICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **SOELAINÉ RODRIGUES ASCARI** intitulada: **MAFint: Modelo afetivo de intervenção tutorial a partir da identificação do erro do aprendiz em Sistemas Tutores Inteligentes**, sob orientação do Prof. Dr. ANDREY RICARDO PIMENTEL, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 12 de Janeiro de 2021.

Assinatura Eletrônica

13/01/2021 18:05:31.0

ANDREY RICARDO PIMENTEL

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

12/01/2021 20:18:15.0

ELEANDRO MASCHIO KRYNSKI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

12/01/2021 21:14:40.0

ROBERTO PEREIRA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

12/01/2021 18:07:20.0

JOSE ANTONIO BUIAR

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ)

*Dedico este trabalho ao meu esposo
Luciano e às minhas filhas Alice e
Érica.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grata a Deus, pelo dom da vida, por ter me dado forças e por guiar meus passos nessa trajetória.

Ao meu amado esposo Luciano, que esteve sempre presente, me incentivando, dando apoio, principalmente nos momentos mais difíceis, que não foram poucos neste último ano. Obrigada pelo carinho e por estar ao meu lado em todo esse processo. Às minhas filhas Alice e Érica, que em muitos momentos não receberam a atenção devia. Vocês foram meu alicerce, minha inspiração e luz durante essa caminhada. Amo vocês.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais Luiz e Luzia, pelo amor e incentivo, serei eternamente grata por tudo o que sou. Aos meus irmãos Leandro e Elizangela, aos meus sogros Flávio e Neiva, ao meu cunhado Rafael e cunhadas Cristina e Cristhiany, aos meus sobrinhos e afilhados Rafaella, Heitor, Maria Clara, Beatriz e Mariana, pelo carinho e apoio.

Ao meu orientador, Prof^o Andrey Ricardo Pimentel, pela pessoa e profissional que é. Obrigada pela oportunidade, orientação, paciência, confiança, amizade e incentivo durante o desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu coorientador Prof^o Ernani Gottardo, por toda colaboração, disponibilidade e sugestões que foram fundamentais para o resultado final desse trabalho.

Aos professores da banca examinadora Prof^o Roberto Pereira, Prof^o José Antonio Buiar e Prof^o Eleandro Maschio Kryncki, pelas excelentes contribuições ao meu trabalho. Ao Prof^o Roberto gostaria ainda de agradecer por toda atenção, palavras de incentivo, ensinamentos e amizade.

Aos meus amigos Eliane Maria de Bortoli Fávero, Franciele Beal, Robison Cris Brito e Rúbia Eliza de Oliveira Schultz Ascari, pela amizade, companheirismo e incentivo. Essa jornada não teria sido a mesma sem vocês. Aos colegas de doutorado da UTFPR Câmpus Dois Vizinhos e Franciso Beltrão, Andre, Marlon, Newton, Evandro e Wellton, pela amizade e por tornar essa caminhada mais rica e agradável.

Aos professores Janecler Aparecida Amorin Colombo, Teodora Pinheiro Figueroa, José Donizetti de Lima, do Departamento de Matemática (UTFPR-PB), ao professor Dalcimar Casanova, do Departamento de Informática (UTFPR-PB), e a minha tia e professora de matemática Maria M. Rachel Peternela, pela ajuda, contribuições e sugestões para o desenvolvimento dos experimentos e conclusão deste trabalho.

À Professora Heloi Aparecida De Carli, professora Silvana Tomazi Camozzato e Clodoaldo Bahls Filho da Secretaria Municipal de Educação e Cultura de Pato Branco, à diretora Elisangela Medeiros e professora Laila Polo Mackievicz da Escola Municipal Antonio Cadorin - Educação Infantil e Ensino Fundamental, à diretora Rosane Terezinha Fontana e as professoras Giedra Regina Moccelini e Gisele Santin da Escola Municipal Rocha Pombo - Educação Infantil, Ensino Fundamental, Educação Especial e EJA-Educação de Jovens e Adultos, aos alunos e pais e/ou responsável legal pela participação, confiança e colaboração para a realização dos experimentos.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e ao Departamento Acadêmico de Informática - DAINF, Câmpus Pato Branco, pelo apoio e concessão do meu afastamento para realização do doutorado.

Ao PPGinf o meu agradecimento aos professores, coordenadores e servidores da UFPR que não medem esforços para o cumprimento de sua missão.

E a todos que de alguma maneira contribuíram para essa conquista.

*"Toda experiência de aprendizagem se
inicia com uma experiência afetiva."
Rubem Alves*

RESUMO

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) são ambientes que possuem a capacidade de adaptar-se às características de cada aprendiz e assim, prover instruções imediatas e personalizadas aos aprendizes, tanto em conteúdo como na forma. Essa personalização pode considerar vários aspectos, como a interação, o nível de conhecimento, o erro e o estado afetivo do aprendiz para aperfeiçoar as estratégias de ensino. Uma das estratégias é a possibilidade de apresentar intervenções tutoriais ao verificar um erro cometido na resolução de um exercício, ou ao detectar que o aprendiz se encontra desmotivado ou frustrado, e a partir dessa informação aprimorar os métodos de ensino com o objetivo de melhorar o desempenho e o nível de conhecimento adquirido pelo aprendiz. Neste sentido, esta pesquisa apresenta um modelo, denominado MAFint, que permite a apresentação automática de intervenções tutoriais a partir da identificação do tipo de erro matemático cometido pelo aprendiz, além de inferir o seu estado afetivo. O erro é identificado a partir de uma classificação de erros matemáticos, e a inferência do estado afetivo é realizada por meio da expressão fácil, utilizando uma abordagem de representação das emoções relacionadas à aprendizagem em quadrantes. Com o objetivo de validar o modelo apresentado, foram realizados três experimentos: Piloto, Experimento 1 (E1) e Experimento 2 (E2), em ambiente de aprendizagem real com aprendizes do quinto ano do ensino fundamental. Para a realização dos experimentos, o modelo foi implementado em um jogo sobre frações na área de matemática. O experimento Piloto possibilitou testar o jogo de frações e todo o arcabouço, e assim analisar e aperfeiçoar os instrumentos e procedimentos de pesquisa para os próximos experimentos (E1 e E2). Os resultados do experimento E1 apontaram um conjunto de intervenções tutoriais, associadas aos erros cometidos pelos aprendizes, que contribuíram para a resolução dos exercícios, além de favorecerem uma maior ocorrência de mudança de estados afetivos positivos. Os resultados do experimento E2, com Grupo de Controle (GC) e Grupo Experimental (GE), indicaram que houve um maior desempenho dos aprendizes do GE em relação ao GC. Essa diferença sinaliza que as intervenções tutoriais específicas apresentadas aos aprendizes do GE os auxiliaram a obter um melhor resultado no pós-teste. Os resultados apresentados indicam que as intervenções tutoriais contribuem para uma melhora no desempenho, além de favorecer um maior engajamento e motivação dos aprendizes.

Palavras-chave: Intervenção Tutorial. Tipo de Erro. Estado Afetivo. Sistemas Tutores Inteligentes. Ambiente Virtual de Aprendizagem.

ABSTRACT

Intelligent Tutoring Systems (ITS) are environments that can adapt to each learner's characteristics and thus provide immediate and personalized instructions to learners, both in content and in form. This personalization can consider several aspects, such as the interaction, the level of knowledge, the error, and the learner's affective state to improve the teaching strategies. One of the strategies is presenting tutorial interventions when verifying an error made in solving an exercise, or when detecting that the learner is unmotivated or frustrated, and from that information, improve teaching methods to improve performance and level of knowledge acquired by the learner. In this sense, this research presents a model, called MAFint, that allows the automatic presentation of tutorial interventions from the identification of the type of mathematical error committed by the learner, in addition to inferring his affective state. The error is identified from a classification of mathematical errors, and the inference of the affective state is performed through facial expression, using an approach of the representation of the emotions related to learning in quadrants. To validate the presented model, three experiments were carried out: Pilot, Experiment 1 (E1), and Experiment 2 (E2), in a real learning environment with learners from the fifth year of elementary school. To carry out the experiments, the model was implemented in a game about fractions in mathematics. The Pilot experiment made it possible to test the fraction game and the whole framework and analyze and improve the research instruments and procedures for the next experiments (E1 and E2). The E1 experiment results pointed out a set of tutorial interventions, associated with the errors made by the learners, which contributed to the resolution of the exercises, in addition to favoring a greater occurrence of change in positive affective states. The E2 experiment results, with the Control Group (CG) and the Experimental Group (GE), indicated that there was a greater performance of the GE learners in relation to the CG. This difference signals that the specific tutorial interventions presented to GE learners helped them obtain a better post-test result. The results presented indicate that tutorial interventions contribute to an improvement in performance and favoring greater engagement and motivation of learners.

Keywords: Tutorial Intervention. Type of Error. Affective State. Intelligent Tutoring Systems. Virtual Learning Environmentt.

LISTA DE FIGURAS

2.1	Emoções básicas de Ekman. Fonte: (Ekman e Friesen, 2003).	21
2.2	Expressão desprezo. Fonte: (Matsumoto e Ekman, 2004)..	22
2.3	Modelo circumplexo bidimensional de afeto. Fonte: Adaptado de Russell (1980). 25	
2.4	Modelo bidimensional do afeto de Watson. Fonte: (Watson et al., 1999)..	26
2.5	Modelo de emoções de Plutchik. Fonte: (Kaminska et al., 2013)..	27
2.6	Estrutura do Modelo OCC. Fonte: (Ortony et al., 1988)..	29
2.7	Domínio STI. Fonte: Adaptado de Nwana (1990)..	35
2.8	Arquitetura geral do STI. Fonte: Adaptado de Nwana (1990)..	35
2.9	Estrutura conceitual dos fatores que interagem com o <i>feedback</i> . Fonte: Adaptado de Shute (2008, p. 173)..	41
2.10	Exemplo de estratégias de <i>feedback</i> . Fonte: Adaptado de Fleming e Levi (1993, p. 221).	43
3.1	Resultado questão QP01 - "Quais são as intervenções tutoriais aplicadas em ambientes virtuais de aprendizagem?".. . . .	51
3.2	Resultado questão QP02 - "O que é considerado para ativar a intervenção tutorial no ambiente virtual de aprendizagem?".. . . .	53
3.3	Resultado questão QP03 - "Quais são as informações usadas para inferir o estado afetivo do aprendiz?".. . . .	54
3.4	Emoções inferidas dos aprendizes.	55
4.1	Modelo MAFint.	63
4.2	Modelo de representação das emoções em quadrantes. Fonte: (Gottardo e Pimentel, 2018)..	64
4.3	Representação dos principais itens para aplicação do Modelo MAFint.	68
5.1	Tela inicial do jogo.	74
5.2	Tela com as perguntas iniciais e captura da imagem.. . . .	75
5.3	Tela do jogo.	76
5.4	Perguntas sobre a percepção do jogo.. . . .	76
5.5	Aprendizes nos laboratórios de informática durante a realização dos experimentos. 79	
5.6	Caixa de mensagens com intervenções mínimas..	83
5.7	Caixa de mensagem com exemplo de uma intervenção tutorial específica.	84
5.8	Caixa de mensagem com intervenção tutorial quando do acerto de uma operação. 84	
5.9	% de ocorrências de acertos e erros na mudança para o quadrante Q1.	88
5.10	% de ocorrências identificadas e não identificadas..	90

5.11	% de acertos e erros na mudança de quadrante para Q1.	93
5.12	Perguntas da tela inicial do jogo de frações.	94
5.13	Resultado do experimento E1 pergunta número dois - "Estudar matemática para você é?".. . . .	95
5.14	Resultado do experimento E2 GC e GE pergunta número dois - "Estudar matemática para você é?".. . . .	95
5.15	Resultado do número de aprendizes para a pergunta "Você gosta de estudar matemática?" x "Estudar matemática para você é?".. . . .	96
5.16	Resultado do número de aprendizes para a pergunta "Que resultado espera conseguir no jogo?" x "Você gosta de estudar matemática?" x "Estudar matemática para você é?".. . . .	97
5.17	Resultado da pergunta P1 "O resultado do jogo foi o que você esperava inicialmente?" dos aprendizes do experimento E1.	98
5.18	Resultado da pergunta P1 "O resultado do jogo foi o que você esperava inicialmente?" dos aprendizes do experimento E2 - GC e GE.	98
5.19	<i>Emojis</i> como item de resposta em escala Likert.	99
5.20	Resultado das perguntas P2-P5 dos aprendizes do experimento E1 em valores percentuais.	100
5.21	Resultado das perguntas P2 "O Jogo colaborou para você aprender o conteúdo sobre frações?" e P3 "Você sentiu dificuldade em resolver as operações do jogo?" dos aprendizes do experimento E2 GC em valores percentuais.	101
5.22	Resultado das perguntas P2-P5 dos aprendizes do experimento E2 GE em valores percentuais.	102

LISTA DE TABELAS

2.1	Relação entre disparadores, emoções e seus comportamentos..	22
2.2	Emoções primárias e emoções secundárias ou sociais..	24
2.3	Exemplos de relação entre disparadores, emoções primárias, secundárias e seus comportamentos.	24
2.4	Classificação de erro.	33
3.1	Protocolo de Estudo utilizado na condução do mapeamento sistemático, definindo o problema de pesquisa, objetivo, questão principal e secundárias.	48
3.2	Critérios de inclusão e exclusão utilizados no primeiro filtro do mapeamento sistemático.	49
3.3	Critérios de seleção utilizados no segundo filtro do mapeamento sistemático.. . .	49
3.4	Formulário de extração de dados..	51
3.5	Intervenções tutoriais x trabalhos.	52
3.6	Informações que ativam as intervenções tutoriais x trabalhos.	53
3.7	Informações para inferir o estado afetivo x trabalhos.	54
3.8	Emoções primárias x trabalhos..	55
3.9	Emoções secundárias x trabalhos.	56
3.10	Intervenções realizadas a partir do estado afetivo.	58
4.1	Relação de tipos e subtipos de intervenções tutoriais x Referências..	65
4.2	Classificação dos tipos e subtipos de intervenções tutoriais, com a indicação de quando usar e objetivo.	66
4.3	Exemplo de identificação e classificação de erros.	68
4.4	Exemplo dos <i>scores</i> de cada emoção de um aprendiz.	69
4.5	Mapeamento dos <i>scores</i> de cada emoção para os respectivos quadrantes.	69
4.6	Exemplo de tipos e subtipos de intervenções.	69
4.7	Exemplo de tipo e subtipos de intervenções tutoriais após acabar as tentativas de resposta.	70
4.8	Exemplo de uma operação com tipo e subtipo de erro e de intervenção tutorial. .	70
4.9	Exemplo de textos de intervenções tutoriais.	71
4.10	Exemplo de textos de intervenções tutoriais apresentadas após acabarem todas as tentativas de respostas.	72
5.1	Distribuição das operações pelo nível de dificuldade.	74
5.2	Tipos e subtipos de intervenções implementadas.	77
5.3	Tipos e subtipos de intervenções tutoriais após todas as tentativas.	78

5.4	Exemplo de uma operação do jogo de frações com tipo, subtipo de erro e intervenção tutorial..	80
5.5	Exemplo de textos de intervenções tutoriais para operações de soma com denominadores iguais.	80
5.6	Exemplo de textos de intervenções tutoriais apresentadas após todas as tentativas de respostas..	81
5.7	Exemplo de erro cometido pelo aprendiz x classificação de erros..	83
5.8	Resultado dos aprendizes do GC..	86
5.9	Resultado dos aprendizes do GE..	86
5.10	Número de ocorrências no experimento E1.	87
5.11	Número de mudanças entre quadrantes.	88
5.12	Tipos e subtipos de erros x subtipos de intervenção.	89
5.13	Total de ocorrências por quadrante..	91
5.14	Total de ocorrências de intervenções tutoriais por grupo.	91
5.15	Mudança de quadrante x intervenção.	92
5.16	Total de mudanças e manutenção para quadrante Q1.	92
5.17	Resultado da pergunta número um - "Você gosta de estudar matemática?".	94
5.18	Resultado da pergunta número três - "Que resultado espera conseguir no jogo?".	96
5.19	Resultado das perguntas P2-P5 dos aprendizes do experimento E1.	99
5.20	Resultado das perguntas P2 "O Jogo colaborou para você aprender o conteúdo sobre frações?" e P3 "Você sentiu dificuldade em resolver as operações do jogo?" dos aprendizes do experimento E2 GC..	101
5.21	Resultado das perguntas P2-P5 dos aprendizes do experimento E2 GE..	101
C.1	Lista de intervenções tutoriais desenvolvidas para serem apresentadas no jogo de frações.	125

LISTA DE ACRÔNIMOS

AFFEX	System for Identifying Affect Expressions by Holistic Judgment
API	Application Programming Interface
AU	Action Unit
AVA	Ambiente Virtual de Aprendizagem
CAAE	Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
CAI	Computer Assisted Instruction
CBIE	Congresso Brasileiro de Informática na Educação
CEP/SD	Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos
CI	Conveyed Information
DLR	Directed Line of Reasoning
ECG	Eletrocardiograma
ELE	Exploratory Learning Environment
EMFACS	Emotion Facial Action Coding System
EMG	Eletromiograma
ERA	Emotion Regulation Agent
FACS	Facial Action Coding System
FAST	Facial Action Scoring Technique
GC	Grupo de Controle
GE	Grupo Experimental
GSR	Galvanic Skin Response
IA	Inteligência Artificial
ICAI	Intelligent Computer Assisted Instruction
LMS	Learning Management System
MAFint	Modelo Afetivo de Intervenção Tutorial
MAX	Maximally Discriminative Facial Movement Coding System
MOODLE	Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment
MRE	Múltiplas Representações Externas
OCC	Modelo Cognitivo de Ortony, Clore e Collyns
PE	Protocolo de Estudo
PT	Pointing To
RBIE	Revista Brasileira de Informática na Educação
SBIE	Simpósio Brasileiro de Informática na Educação
SOPHIE	SOPHisticated Instructional Environment
STI	Sistemas Tutores Inteligentes
TALES	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido

TCLES	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
VLE	Virtual Learning Environment
WIE	Workshop de Informática na Escola
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral.	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
1.2	JUSTIFICATIVA	18
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	COMPUTAÇÃO AFETIVA	20
2.1.1	Modelos de Emoções	20
2.1.2	Reconhecimento dos Estados Afetivos	29
2.2	CLASSIFICAÇÃO DE ERROS	32
2.3	SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES	33
2.3.1	Modelo de Tutoria.	36
2.4	INTERVENÇÃO TUTORIAL	37
2.4.1	Tipos de Intervenção Tutorial.	38
2.5	CONSIDERAÇÕES	47
3	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO	48
3.1	METODOLOGIA.	48
3.2	RESULTADO DO MAPEAMENTO.	51
3.3	CONSIDERAÇÕES	61
4	MODELO PROPOSTO	62
4.1	METODOLOGIAS UTILIZADAS EM RESPOSTAS AS QUESTÕES DE PESQUISA	62
4.2	MAFINT	63
4.2.1	Classificação dos Erros	63
4.2.2	Inferência do Estado Afetivo	64
4.2.3	Classificação das Intervenções Tutoriais	65
4.2.4	Uso do Modelo MAFint.	67
4.3	CONSIDERAÇÕES	72
5	EXPERIMENTOS E RESULTADOS	73
5.1	METODOLOGIA.	73
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS	73
5.2.1	Jogo de Frações	73
5.2.2	Definição das Intervenções Tutoriais	77

5.3	DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS	78
5.3.1	Piloto	79
5.3.2	Experimento 1.	79
5.3.3	Experimento 2.	82
5.4	RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS	85
5.4.1	Análise dos Resultados - Hipótese 1	85
5.4.2	Análise dos Resultados - Hipótese 2	87
5.4.3	Resultado das Perguntas	93
5.5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	103
5.5.1	Análise Comparativa	103
5.5.2	Análise Experimentos.	104
5.6	AMEAÇAS À VALIDADE DOS EXPERIMENTOS	106
5.7	CONSIDERAÇÕES	106
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
6.1	TRABALHOS FUTUROS	108
6.2	PUBLICAÇÕES	109
	REFERÊNCIAS	110
	APÊNDICE A – LISTA DE EXERCÍCIOS - PRÉ-TESTE.	121
	APÊNDICE B – LISTA DE EXERCÍCIOS - PÓS-TESTE.	123
	APÊNDICE C – LISTA DE INTERVENÇÕES TUTORIAIS	125

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias da informação e comunicação (TIC) têm desempenhado um papel importante quando se fala em educação a distância. Elas estão cada vez mais inseridas no contexto educacional e têm contribuído de modo a enriquecer o desenvolvimento e disseminação da educação a distância (Valente, 2019). Neste contexto, percebe-se, a partir do avanço das redes de computadores, em especial à Internet, que novas experiências são vivenciadas pelos aprendizes no processo de ensino e aprendizagem, seja em ambiente presencial ou virtual. Há uma nova forma de interação entre aprendiz e professor (tutor), novas maneira de apresentar conceitos, conteúdos e atividades. Para Athanasiadis et al. (2017) e Schuartz (2020), esses avanços modificaram principalmente a forma de comunicação com os conteúdos antes impressos e agora apresentados de forma dinâmica que possibilitam uma maior interação. Assim, as tecnologias podem ser utilizadas para propiciar ao aprendiz uma forma diferenciada para a aquisição e construção do conhecimento.

Em relação aos professores, essas tecnologias podem atuar como ferramentas que complementam, aperfeiçoam e proporcionam mudanças nas diferentes formas de abordar o conteúdo e, conseqüentemente, na qualidade do ensino. De acordo com o estudo realizado por Brandalise (2019, p. 22), "as tecnologias estão ao alcance da maioria das pessoas e inserir as mesmas (sic) no processo de ensino e aprendizagem faz com que haja a ampliação do conhecimento e a melhoria da qualidade do ensino". Todas essas mudanças trazem "fortes demandas para a educação, julga-se que as TIC enriquecem o processo de ensino-aprendizagem quando propiciam a criação de condições para a construção e apropriação de conhecimentos, habilidades e atitudes" (Schuhmacher et al., 2016, p. 1).

Dessa forma, percebe-se a necessidade de considerar todos os elementos inerentes ao ambiente disponível ao processo de ensino e aprendizagem, e não apenas os recursos tecnológicos e de conteúdo normalmente aplicados em ambientes tradicionais. Observa-se que, mesmo o aprendiz estando imerso nesse ambiente de ensino e aprendizagem com tantas tecnologias disponíveis, ainda existe uma lacuna a ser estudada, que busca saber o motivo de alguns aprendizes não obterem melhores resultados. Um aspecto que está sendo levado em consideração no desenvolvimento de sistemas computacionais para a educação envolve o aprendiz em seu conjunto de relações sociais, culturais, físicas, cognitivas, psicológicas e afetivas (Hernández et al., 2006; Longhi et al., 2008; Yin e Guo, 2010; Júnior et al., 2019).

Em se tratando dos ambientes disponíveis para o processo de ensino e aprendizagem, sejam eles presenciais, semi-presenciais ou a distância, de Almeida (2003) afirma que esses ambientes são destinados ao suporte de atividades mediadas pelas TIC. Estes ambientes permitem integrar múltiplas mídias, linguagens e recursos, apresentar informações de maneira organizada, desenvolver interações entre pessoas e objetos de conhecimento, elaborar e socializar produções visando atingir determinados objetivos. Esses ambientes são "constituídos por uma infraestrutura tecnológica (interface gráfica, comunicação síncrona/assíncrona e outras funcionalidades) e por todas as relações (afetivas, cognitivas, simbólicas, entre outras) estabelecidas pelos sujeitos participantes, tendo como foco principal a aprendizagem" (Frozza et al., 2011, p. 2).

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) utilizam técnicas e métodos da Inteligência Artificial (IA) com o objetivo de auxiliar aprendizes e tutores no processo de aquisição e transmissão de conhecimento. Uma das principais vantagens é oferecer auxílio inteligente individualizado (Seffrin et al., 2013), ajudando os aprendizes a adquirir as habilidades necessárias para ter sucesso (Lane, 2006). Os STI podem prover instruções imediatas e customizadas aos

aprendizes (Reis et al., 2018), e geralmente são realizadas sem a intervenção humana, ou seja, simulando o comportamento de um tutor humano. Essas intervenções normalmente seguem um padrão, não considerando todos aspectos inerentes ao contexto do aprendiz, como o seu estado afetivo. De acordo com Lane (2006), para um STI ser considerado eficaz, este deve equilibrar a necessidade de participação ativa do aprendiz com a fornecimento de instruções.

A fim de buscar soluções para problemas que envolvem o estado afetivo de aprendizes em diversas situações que ele possa vivenciar, a computação afetiva tem sido bastante explorada. A computação afetiva estuda como os computadores podem ter a capacidade de reconhecer, modelar e responder inteligentemente às emoções humanas e depois expressá-las por meio de uma interface computacional (Picard, 1997; Nunes et al., 2010). Ou seja, é possível integrar tutores inteligentes afetivos aos STI, sejam eles agentes artificiais animados ou não, com a função de inferir os estados afetivos dos aprendizes, com o objetivo de auxiliar a aprendizagem e alterar o seu próprio comportamento (Picard, 1997).

As pesquisas de Sandanayake e Madurapperuma (2013) e Júnior et al. (2019), relatam que os estados afetivos podem ter influência sobre a aprendizagem, além de desempenharem papel vital na tomada de decisões e nas atividades de gestão da aprendizagem. Picard (1997) reforça que as "emoções são importantes para a inteligência humana, na tomada de decisões racionais, na interação social, percepção, memória, aprendizagem e criatividade." Neste sentido, da Cunha e da Silva (2009) observam que o reconhecimento dos estados afetivos em ambientes de aprendizagem podem diminuir a distância e melhorar a comunicação e o processo de interação entre aprendiz e tutor. Os referidos autores afirmam ainda que o fato dos aprendizes não estarem presentes em sala de aula, há uma exigência maior da percepção e das habilidades afetivas por parte do tutor. Desta forma, a computação afetiva pode ser empregada nos STI para realizar a inferência de estados afetivos por meio de expressões faciais, sinais fisiológicos, gestos, voz ou textos escritos. Assim é possível personalizar o ambiente ou ainda realizar intervenções tutoriais (*feedback*, dicas, indicação de conteúdos e exercícios) de acordo com o estado afetivo inferido (Mao e Li, 2009; Yin e Guo, 2010; Ayadi et al., 2011; Rodriguez et al., 2012).

Outro aspecto que não pode ser negligenciado ou visto como algo negativo é o erro cometido pelo aprendiz no processo de ensino e aprendizagem, seja por falta de conhecimento de conceitos ou mesmo por desatenção (Marczal et al., 2015). O erro pode ser considerado como uma oportunidade para construção do conhecimento (Fiori e Zuccheri, 2005; Peng e Luo, 2009). Com base nos erros, os STI têm a capacidade de identificar de forma individualizada as dificuldades do aprendiz e assim prover uma intervenção tutorial imediata e apropriada (Ramos, 2010; Leite et al., 2012; Marczal et al., 2015). A intervenção tutorial não precisa ocorrer ao final da resolução de um exercício se o erro, ou erro eminente, já foi identificado, pois, os STI têm a capacidade de analisar a solução de uma questão de forma parcial (Ramos, 2010). Essas intervenções tutoriais podem auxiliar os aprendizes a seguir em um caminho correto, o da solução já conhecida, protegendo-os de uma aprendizagem equivocada. As intervenções não precisam ser apresentadas somente quando o aprendiz erra, também podem ocorrer quando da identificação de bons resultados ou desempenho.

Com base no contexto apresentado até aqui, tem-se a seguinte pergunta de pesquisa: **Seria possível indicar qual a intervenção tutorial mais adequada a ser apresentada de forma dinâmica, considerando o erro cometido pelo aprendiz, visando obter um melhor desempenho, engajamento e motivação?**

Dessa forma, esta pesquisa apresenta o MAFint - Modelo Afetivo de Intervenção Tutorial para Sistemas Tutores Inteligentes, ou seja, um modelo de intervenções tutoriais que permite a apresentação automática de intervenções tutoriais a partir da identificação do tipo de erro matemático cometido pelo aprendiz, além da inferência do seu estado afetivo. Para a identificação

do erro, é aplicada a classificação de erros matemáticos desenvolvido por Leite et al. (2012), e para a inferência do estado afetivo é utilizada abordagem do modelo de representação das emoções em quadrantes desenvolvida por Gottardo e Pimentel (2018). A inferência do estado afetivo é realizada pela captura da expressão facial do aprendiz.

Experimentos foram realizados em um ambiente real de aprendizagem, com o objetivo de avaliar o modelo. Para isso, o modelo foi implementado em um jogo de frações desenvolvido para essa finalidade, e os resultados indicam que as intervenções tutoriais personalizadas favorecem um maior engajamento e motivação além de contribuírem com o aprendizado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da presente pesquisa é propor um modelo afetivo de apresentação automática de intervenções tutoriais a partir da identificação e classificação do erro cometido pelo aprendiz em Sistemas Tutores Inteligentes. Com isso, espera-se prover intervenções tutoriais mais apropriadas de modo a manter o aprendiz em um estado afetivo que favoreça o aprendizado.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os seguintes objetivos específicos foram identificados e considerados para realização da pesquisa:

- Identificar e categorizar os tipos de intervenções tutoriais aplicados em Sistemas Tutores Inteligentes;
- Aplicar o modelo de representação das emoções em quadrantes e a classificação de erros matemáticos para o modelo apresentado;
- Realizar experimentos para validar o modelo proposto no ambiente escolar;
- Identificar a correlação entre estado afetivo e intervenção tutorial.

1.2 JUSTIFICATIVA

O estado afetivo do aprendiz tem influência sobre o processo de ensino e aprendizagem, seja nos aspectos positivos ou negativos (Pekrun et al., 2002; Fonseca, 2016). A medida em que se eleva o nível de dificuldade de um exercício, o aprendiz pode ficar ansioso, frustrado ou confuso e, como consequência extrema, pode-se ter o que é chamado por Picard (1995) de "abandono do aprendizado". Quando o aprendiz está em um estado afetivo positivo, como motivado e engajado, esse estado auxilia as funções cognitivas, de modo que favorece a aprendizagem (Pekrun, 2014; Fonseca, 2016; Angel et al., 2020). Com o auxílio da computação afetiva por meio de métodos, modelos e técnicas computacionais, pode-se realizar o reconhecimento de estados afetivos e, por meio de algum tipo de intervenção tutorial, intervir nesse processo de modo a induzir a continuidade no aprendizado (Reis et al., 2018). A expressão facial, que é uma forma de comunicação não verbal, permite identificar de forma mais natural possível o humor do aprendiz, situações de estresse, confusão, entre outros (Reis et al., 2018). A escolha por esse tipo de reconhecimento leva em consideração o fato de não ser invasiva, uma *webcam*, usada para capturar a imagem, apresenta um bom custo-benefício e está disponível em quase todos os

computadores. Assim, o reconhecimento é feito de forma dinâmica e também pela variedade de algoritmos disponíveis para essa atividade (Grafsgaard et al., 2013; Reis et al., 2018).

O erro cometido pelo aprendiz em uma atividade de aprendizagem pode ser reflexo da dificuldade que ele está tendo com o conteúdo ou até mesmo por pura distração (Leite et al., 2012; Marczal et al., 2015). Durante o processo de interação com o ambiente de ensino, o aprendiz pode cometer erros derivados da interpretação incorreta do enunciado do exercício, ou ainda da incorreta generalização de um conceito, e muitas vezes não consegue diagnosticar a causa do erro (Ramos, 2010). Desta forma, percebe-se a possibilidade de intervir diretamente no aspecto que está afetando o nível de rendimento do aprendiz. Ao detectar que o aprendiz cometeu um erro, é possível esclarecer melhor um conteúdo ou conceito, seja a partir de dicas, novas explanações, ou por entre outras ações tutoriais. Verifica-se assim a necessidade de identificar e remediar tais erros para ajudar o aprendiz no seu processo de ensino e aprendizagem e, com isso, aumentar o engajamento e motivação do aprendiz.

A partir do desenvolvimento da presente pesquisa foi possível observar, por meio dos experimentos realizados, que o modelo afetivo de intervenções tutoriais possibilita aos aprendizes um estado afetivo favorável ao aprendizado. Quando da apresentação das intervenções tutoriais que consideram o erro cometido pelo aprendiz, verifica-se que há uma ocorrência maior de estados afetivos como motivação, interesse e engajamento. Dessa forma, é possível oferecer um modelo de intervenção tutorial que possa ser implementado em STI com a finalidade de melhorar a experiência dos aprendizes. O modelo proporciona ao aprendiz um estado afetivo mais adequado para o aprendizado e aquisição de conhecimento.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta tese está organizada conforme apresentado a seguir. No Capítulo 2 são apresentadas as principais abordagens e conceitos relacionados a computação afetiva, modelos de emoções, reconhecimento dos estados afetivos, classificação de erros, Sistemas Tutores Inteligentes, modelo de tutoria, assim como, intervenções tutoriais. Na sequência, o Capítulo 3 apresenta a metodologia e os resultados de uma revisão da literatura abrangendo trabalhos correlatos a esta pesquisa. O Capítulo 4 descreve a proposta do modelo afetivo de intervenção tutorial, sua estrutura e principais características. O Capítulo 5 apresenta a metodologia, os materiais e métodos, a descrição, os resultados dos experimentos, a discussão dos resultados e possíveis ameaças à validade dos experimentos. E por fim, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais e as sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentadas as principais abordagens e conceitos relacionados à computação afetiva, estados afetivos, seus modelos e formas de inferência. Também será explanado sobre classificação de erro, sistemas tutores inteligentes e intervenção tutorial.

2.1 COMPUTAÇÃO AFETIVA

A computação afetiva (*Affective Computing*), um ramo de estudo da IA, é definido como computação que se relaciona, surge ou influencia deliberadamente as emoções (Picard, 1997). É uma área de pesquisa que estuda formas de como atribuir a um computador habilidades emocionais para que seja capaz de uma interação mais natural com os seres humanos. A computação afetiva busca ampliar o desenvolvimento de aplicações científicas, lúdicas e educacionais, conceito este apresentado pela primeira vez por Rosalind Wright Picard (1995). Os computadores devem ser capazes de "compreender e expressar suas próprias emoções, reconhecer emoções nos outros, controlar a afetividade e utilizar o humor e as emoções para motivar comportamentos adaptativos" (Iepsen et al., 2013, p. 56).

Como a computação afetiva está associada às emoções, suas pesquisas não estão atreladas apenas à área ciência da computação, envolvendo também outras áreas como: a psicologia, a neurociência, a fisiologia e pesquisas na área de ciências cognitivas (Sheng et al., 2010). É uma área multidisciplinar que "investiga como dotar os computadores de várias características sociais, tais como reconhecer emoções e responder apropriadamente a elas, expressar emoções, mostrar empatia, identificar personalidade entre outros" (Jaques e Nunes, 2013, p. 31). Reconhecer e responder aos estados afetivos dos aprendizes automaticamente durante o processo de interação com o computador pode melhorar a qualidade da interação, tornando a interface do sistema mais utilizável, agradável e eficaz (Calvo e D'Mello, 2010).

A integração entre sistemas computacionais e as informações sobre estados afetivos dos aprendizes possibilitam o desenvolvimento de sistemas adaptativos e individualizados que visam favorecer as ações pedagógicas baseadas em aspectos afetivos inferidos.

Nesse sentido observa-se o desenvolvimento de pesquisas nessa área, envolvendo aspectos relativos à identificação da afetividade nos ambientes de ensino. No trabalho de Longhi et al. (2007a), o objetivo é permitir que o professor melhore suas ações pedagógicas baseadas em aspectos afetivos inferidos durante o processo de interação com o ambiente virtual. Em Shen et al. (2009), o estudo explorou como a emoção evolui durante o processo de aprendizagem e como o *feedback* afetivo pode ser usado para melhorar as experiências de aprendizagem. O trabalho de Iepsen et al. (2013) tem como objetivo contribuir com o processo de aprendizagem de algoritmos a partir do reconhecimento do estado afetivo (frustração) do aprendiz na realização de atividades da disciplina, para então se prover um apoio personalizado a estes aprendizes. A pesquisa realizada por Santos et al. (2014) procura identificar o estado de ânimo dos aprendizes durante a interação com um ambiente de ensino, com a finalidade de identificar os indicadores do desânimo do aprendiz, visto a influência que as emoções causam no processo de aprendizagem.

2.1.1 Modelos de Emoções

Os seres humanos manifestam suas emoções de diversas maneiras, e mais variados ainda são os métodos para inferir e identificar a emoção transmitida. Assim modelos de emoções

foram desenvolvidos a partir de diferentes teorias científicas de emoção ao longo dos anos, como: os modelos discretos; os dimensionais e os baseados na teoria *Appraisal*.

2.1.1.1 Modelos Discretos

No modelo discreto, as emoções são agrupadas em diferentes categorias e considera-se que as emoções são independentes. Dentre os modelos discretos, foi proposto pelo psicólogo Paul Ekman (1992) um modelo de emoções básicas representadas por seis expressões faciais universais distintas, compreensíveis por todas as pessoas em diferentes localidades, independente da cultura (Libralon, 2014). Ekman verificou que cada uma dessas emoções possui suas características e podem ser encontradas em todas as culturas, quaisquer que sejam a raça, a língua, a religião ou os costumes. A Figura 2.1 apresenta as expressões faciais das seis emoções básicas de Ekman: (A) raiva, (B) medo, (C) aversão, (D) surpresa, (E) alegria e (F) tristeza.



Figura 2.1: Emoções básicas de Ekman.
Fonte: (Ekman e Friesen, 2003).

Estas não são as únicas emoções ou expressões faciais existentes, uma sétima expressão é universalmente reconhecida e foi acrescida posteriormente ao conjunto das seis emoções iniciais de Ekman, denominada desprezo (Figura 2.2). Os modelos discretos apresentam como uma das principais vantagens a comprovação, realizadas por meio de experimentos psicofísicos, que a percepção das emoção pelos seres humanos é discreta e que estes modelos permitem associar de forma mais fácil as emoções com as expressões faciais que as representam (Libralon, 2014). Essas emoções básicas são empregadas principalmente em trabalhos de reconhecimento de expressões faciais.

Além de Ekman, outros pesquisadores também tentaram categorizar as emoções, como: Izard (1972) com as emoções interesse, alegria, surpresa, angústia, raiva, repulsa, desprezo, vergonha e medo. Panksepp (1982) apresenta quatro emoções: expectativa, raiva, medo e pânico. Tomkins (1984) com as emoções classificadas como afetos positivos e negativos. Os afetos positivos são os seguintes: interesse ou excitação; prazer ou alegria; e surpresa ou sobressalto. Os afetos negativos são: aflição ou angústia; medo ou terror; vergonha ou humilhação; desprezo; nojo; e raiva.

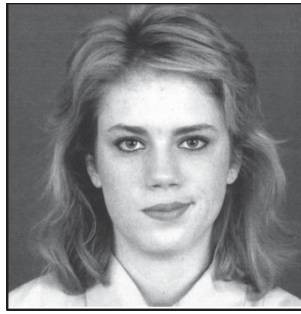





Figura 2.2: Expressão desprezo.
Fonte: (Matsumoto e Ekman, 2004).





Damásio (2012) classifica as emoções em primárias e secundárias. As emoções primárias são aquelas consideradas inatas ou pré-organizadas que servem para garantir a sobrevivência humana. Em Chabot e Chabot (2005) é apresentada a relação entre as emoções, os disparadores (aquilo que as provocam) e os comportamentos que delas resultam do ponto de vista biológico (Tabela 2.1).

Tabela 2.1: Relação entre disparadores, emoções e seus comportamentos.

Disparadores	Emoções		Comportamentos
Ameaça	Medo 	Disparada quando uma ameaça potencial se anuncia e que ela provoca, como consequência, um comportamento de fuga.	Fuga
Obstáculo	Raiva 	Liga-se a um obstáculo que impede a consecução de um objetivo qualquer e engendra o ataque, destinado a eliminar a fonte da frustração.	Ataque
Perda	Tristeza 	Associada a uma perda e provoca um comportamento de retração interior, o retraimento.	Retraimento

Continua na próxima página.

Tabela 2.1 – continuação da página anterior.

Disparadores	Emoções		Comportamentos
Situação inesperada	Surpresa 	Provocada por uma situação inesperada à qual sucede uma resposta de busca de orientação, cujo papel é colocar o organismo em estado de alerta, a fim de que possa avaliar os riscos potenciais de uma situação.	Orientação
Situação aversiva	Aversão (ou desgosto) 	Provocado por uma substância ou uma situação aversiva, conduz à rejeição e à deglutição e pode, assim, nos salvar a vida.	Rejeição
Situação desejada	Alegria 	Disparada quando uma situação desejada se produz, induzindo um comportamento de aproximação.	Aproximação
Repulsão	Desprezo 	Engendrado por algo repulsivo e produz um comportamento de condescendência em relação à pessoa que provoca esse sentimento. Quase sempre direcionado a uma pessoa.	Condescendência

Fonte: Adaptado de Chabot e Chabot (2005).

As emoções primárias podem ser consideradas como uma matéria-prima a partir da qual se originam outras emoções, que são denominadas de emoções secundárias ou sociais. As emoções secundárias são adquiridas por meio de processos cognitivos e experiências anteriores, ou seja, estão relacionadas a uma série de situação e circunstâncias de nossa vida cotidiana. A Tabela 2.2 apresenta exemplos de emoções secundárias ou sociais.

Tabela 2.2: Emoções primárias e emoções secundárias ou sociais.

Emoções Primárias	Emoções Secundárias ou Sociais
Medo	Angustiado, culpado, indeciso, inquieto, desconfiado.
Raiva	Agitado, contrariado, frustrado, hostil, nervoso.
Tristeza	Magoado, abatido, aflito, decepcionado, deprimido.
Surpresa	Espantado, assombrado, estupefato, surpreendido, impressionado.
Aversão	Exasperado, amargurado, desgostoso, enjoado, desagradado.
Alegria	Satisfeito, confiante, feliz, otimista, motivado.
Desprezo	Desdenhoso, distante, arrogante, desprezível, repugnado.

Fonte: Adaptado de Chabot e Chabot (2005).

As emoções secundárias, assim com as primárias, também levam a uma série de comportamentos, por exemplo, um aprendiz pode se sentir inseguro ao realizar uma atividade em decorrência da falta de conhecimento de um determinado conteúdo, pode ainda se sentir decepcionado caso o resultado final não seja o desejado. A Tabela 2.3 apresenta alguns exemplos da relação das emoções secundárias com os disparadores e seus comportamentos.

Tabela 2.3: Exemplos de relação entre disparadores, emoções primárias, secundárias e seus comportamentos.

Disparadores	Emoção (Primária → Secundária)	Comportamento
Obstáculo → Dificuldades com uma disciplina	Raiva → Frustração	Ataque → Crítica ao professor
Perda → Fracasso	Tristeza → Decepção	Retraimento → Desmotivação
Situação desejada → Sucesso	Alegria → Entusiasmo	Aproximação → Motivação

Fonte: Adaptado de Chabot e Chabot (2005).

2.1.1.2 Modelos Dimensionais

Outro modelo a ser apresentado é o modelo dimensional de emoções, que teve o seu desenvolvimento motivado por estudos sobre os componentes subjetivos da emoção, com o objetivo de compreender e explorar as bases fisiológicas centrais das experiências afetivas. Essas experiências são consideradas pelos modelos dimensionais como um contínuo de estados altamente inter-relacionados e por vezes ambíguos (Posner et al., 2005). O modelo dimensional descreve a relação existente entre as categorias de emoções distinguindo-as conforme suas características em modelos bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D).

O modelo circumplexo bidimensional de afeto (*Circumplex Model of Affect*), que é um modelo dimensional específico de emoção, surgiu na década de 80 para compreensão e a categorização das emoções por meio de duas dimensões: valência e ativação. O psicólogo James A. Russell (1980) propõe que os estados afetivos surgem de dois sistemas neurofisiológicos independentes, um relacionado a um contínuo prazer e desprazer (valência) e o outro à excitação/estado de alerta (ativação). Sua pesquisa apresenta uma lista de 28 palavras que representam o que as pessoas utilizam para descrever emoções.

A Figura 2.3 apresenta o modelo de afeto onde as emoções estão relacionadas entre si e apresentadas por pontos em um espaço bidimensional. Ou seja, as emoções estão dispostas em um plano que possui dois eixos, o eixo horizontal representa a dimensão de valência e o eixo

vertical a dimensão de ativação, que explicam o grau de agradabilidade e ativação fisiológica (Niese et al., 2011). Cada emoção pode ser entendida como uma combinação linear das duas dimensões, ou como graus variados de valência e ativação (Posner et al., 2005). Pode-se dizer que as experiências afetivas são resultantes da combinação dessas duas dimensões, em graus distintos (Crispim et al., 2017), que são então interpretadas como uma emoção particular (Posner et al., 2005). O medo, exemplo apresentado por Posner, é considerado como um estado neurofisiológico que envolve a combinação de valência negativa e ativação aumentada (Posner et al., 2005).

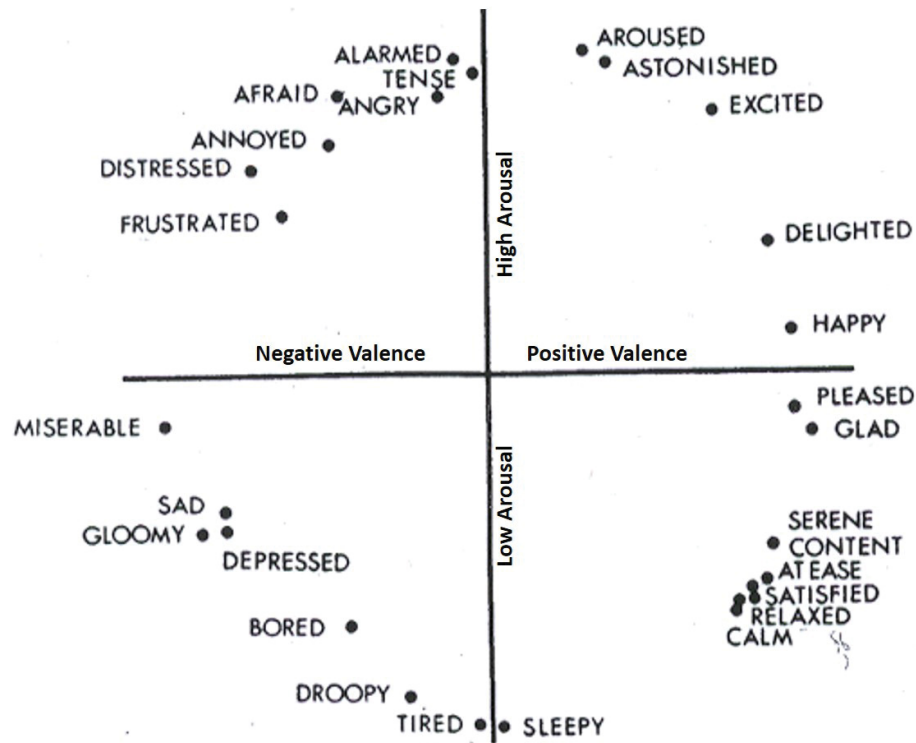


Figura 2.3: Modelo circumplexo bidimensional de afeto.
Fonte: Adaptado de Russell (1980).

O modelo proposto por Russell (1980) foi mais tarde aperfeiçoado por David Watson et al. (1999). O modelo de Watson (Figura 2.4), paralelamente ao de Russell, apresenta quatro dimensões bipolares que estão espaçadas em 45° (Watson et al., 1999):

- *Pleasantness x Unpleasantness* - Feliz x Triste;
- *High Positive Affect x Low Positive Affect* - Animado x Lento;
- *Engagement x Disengagement* - Engajado x Desengajado;
- *High Negative Affect x Low Negative Affect* - Angustiado x Relaxado.

O intervalo entre as emoções representadas na círculo pressupõe a semelhança (quando estão próximas) ou a diferença (quando estão distantes) entre as emoções (Dosciatti, 2015). Neste modelo, Watson enfatizada a importância das dimensões do afeto negativo e positivo que são representadas no modelo pelas linhas sólidas. Relata ainda que os dois conjuntos de eixos, linhas sólidas e linhas pontilhadas, refletem aspectos importantes da experiência afetiva.

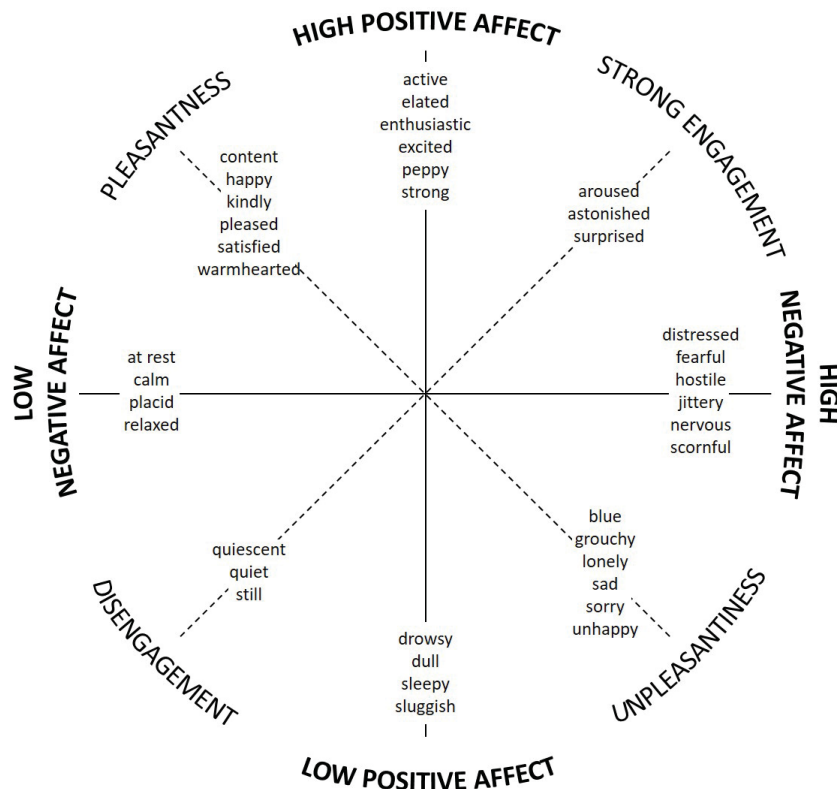


Figura 2.4: Modelo bidimensional do afeto de Watson.

Fonte: (Watson et al., 1999).

O modelo circumplexo tridimensional de emoções (modelo 3D, Figura 2.5) permite visualizar as relações existentes entre as emoções. O modelo criado pelo psicólogo Robert Plutchik, sugere oito emoções primárias, relacionadas biologicamente à adaptação para a sobrevivência (Plutchik e Kellerman, 1980), são elas:

- raiva;
- medo;
- tristeza;
- alegria;
- nojo;
- surpresa;
- curiosidade;
- aceitação.

As demais emoções são derivadas e ocorrem a partir da combinação das emoções primárias. Na base do cone são apresentadas as emoções primárias como pares opostos, por exemplo, a raiva é oposta ao medo. O círculo formado representa o grau de similaridade entre as emoções e a dimensão vertical do cone representa a intensidade (Kaminska et al., 2013). As emoções apresentadas nos espaços em branco representam a combinação de duas emoções primárias (Dosciatti, 2015).

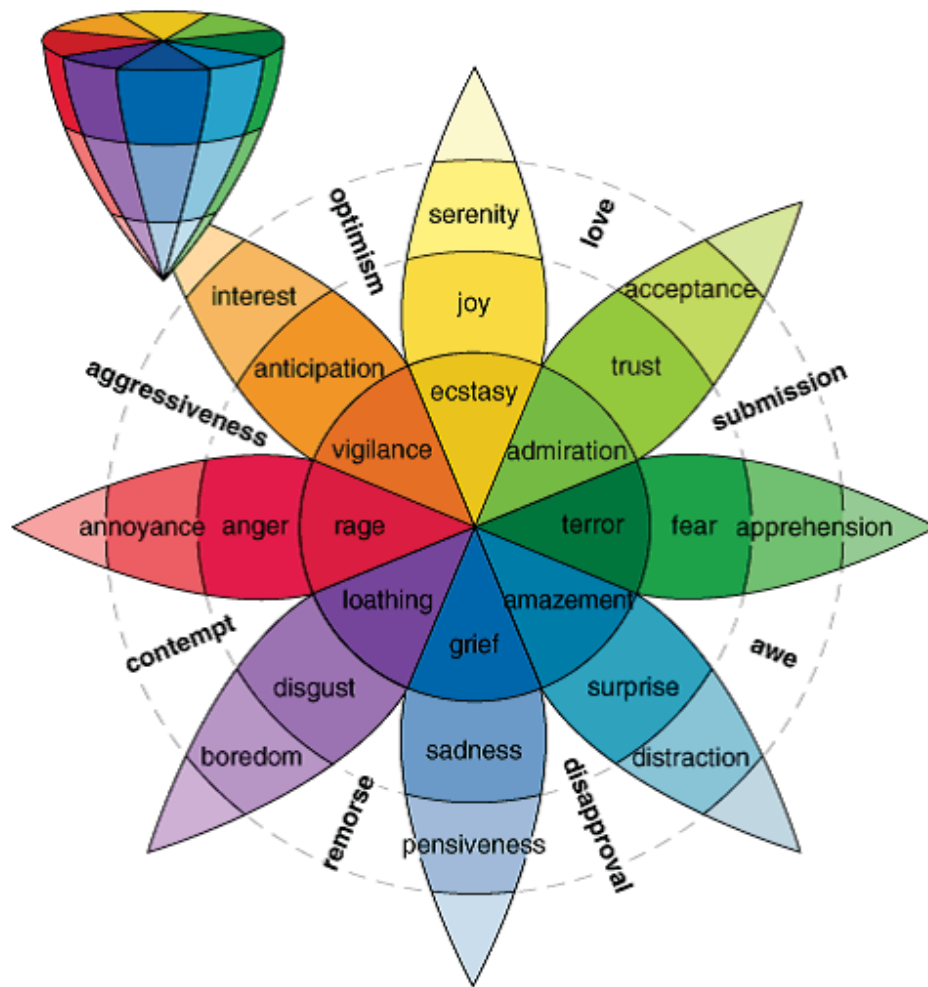


Figura 2.5: Modelo de emoções de Plutchik.

Fonte: (Kaminska et al., 2013).

2.1.1.3 Modelos Baseados na Teoria Appraisal

Nos modelos baseados na Teoria *Appraisal* (avaliação) as emoções são eliciadas e diferenciadas em função da avaliação subjetiva de uma pessoa ou da avaliação de eventos ou situações relevantes. Esse processo de avaliação consiste na "avaliação subjetiva (automática e inconsciente ou controlada e deliberada) que ocorre durante o encontro do indivíduo com eventos significativos no ambiente, determinando a natureza da reação emocional e da experiência. A interpretação de eventos e situações do organismo elicia e diferencia suas respostas emocionais" (Scherer et al., 2001). Para dizer se um determinado conjunto de situações é avaliado como prejudicial ou benéfico é necessário observar os objetivos e crenças da pessoa (Smith e Lazarus, 1993). Assim, as emoções são resultados do processo de avaliação das crenças, desejos e intenções da pessoa e das exigências ambientais (Longhi et al., 2008).

Esta teoria tem como base a estrutura cognitiva das emoções e pressupõe que as emoções possam ser valoradas. As emoções estão ligadas diretamente com o significado compreendido das situações e que a avaliação se refere à atribuição de um valor ou do significado emocional daquela situação (Clore e Ortony, 2000). Dessa forma, observa-se que a avaliação tem um papel importante de vincular as respostas emocionais às situações ambientais e aos objetivos e crenças pessoais (Smith e Lazarus, 1993).

Para Scherer et al. (2001), a teoria da avaliação pode esclarecer questões que estão relacionadas a:

- diferenciação emocional;
- diferenças temporais;
- individuais e culturais na resposta emocional;
- a adequação de muitas reações emocionais às situações em que ocorrem;
- a causa e remediação da patologia emocional.

Existem alguns modelos propostos na teoria *Appraisal* como os apresentados por Arnold (1960), Frijda (1986), Scherer (1988), Ortony et al. (1988), Roseman et al. (1990) e Smith e Lazarus (1993).

Dentre os modelos citados acima, o modelo OCC (Ortony et al., 1988), baseado na teoria cognitivista das emoções, é um dos mais utilizados para inferir e sintetizar emoções em ambientes computacionais (Scherer et al., 2001; Bercht, 2001; Longhi et al., 2007b; Jaques, 2008). O modelo recebe o nome de OCC em função das letras iniciais dos sobrenomes dos seus autores, os psicólogos Andrew Ortony, Gerald L. Clore e Allan Collin. É um modelo utilizado para modelagem computacional de emoções e pode ser facilmente implementado (Jaques, 2004) com o objetivo de auxiliar a compreensão de quais emoções as pessoas experimentam em determinadas situações (Ortony et al., 1988).

Neste modelo, as emoções são organizadas a partir da sua avaliação considerando três aspectos: eventos, agentes e objetos. Os eventos são construções que as pessoas fazem sobre o que acontece; os agentes podem ser biológicos, artificiais ou ainda objetos inanimados; os objetos tratam de como a pessoa vê, sente e percebe o objeto (Bercht, 2001).

Desta forma a estrutura do modelo OCC, conforme apresentada pela Figura 2.6, é formada pelas classes de emoções denominadas de Consequências de Eventos, Ações de Agentes e Aspectos de Objetos, em que um conjunto de vinte e duas emoções são distribuídas em seis grupos com base em suas condições cognitivas de elicitación. O conjunto de emoções é formado por:

- *Happy for* e *Resentment* - Feliz por e Ressentimento;
- *Gloating* e *Pity* - Satisfação maldosa (alegria pelo sofrimento alheio) e Pena;
- *Hope* e *Fear* - Esperança e Medo;
- *Satisfaction* e *Fears-confirmed* - Satisfação e Medo confirmado;
- *Disappointment* e *Relief* - Desapontamento e Alívio;
- *Joy* e *Distress* - Alegria e Aflição;
- *Pride* e *Shame* - Orgulho e Vergonha;
- *Admiration* e *Reproach* - Admiração e Reprovação;
- *Love* e *Hate* - Amor e Ódio;
- *Gratification* e *Remorse* - Satisfação e Remorso;
- *Gratitude* e *Anger* - Gratidão e Raiva.

Observa-se que as emoções estão dispostas em pares em que cada par é composto por uma emoção de valência positiva e seu oposto em valência negativa.

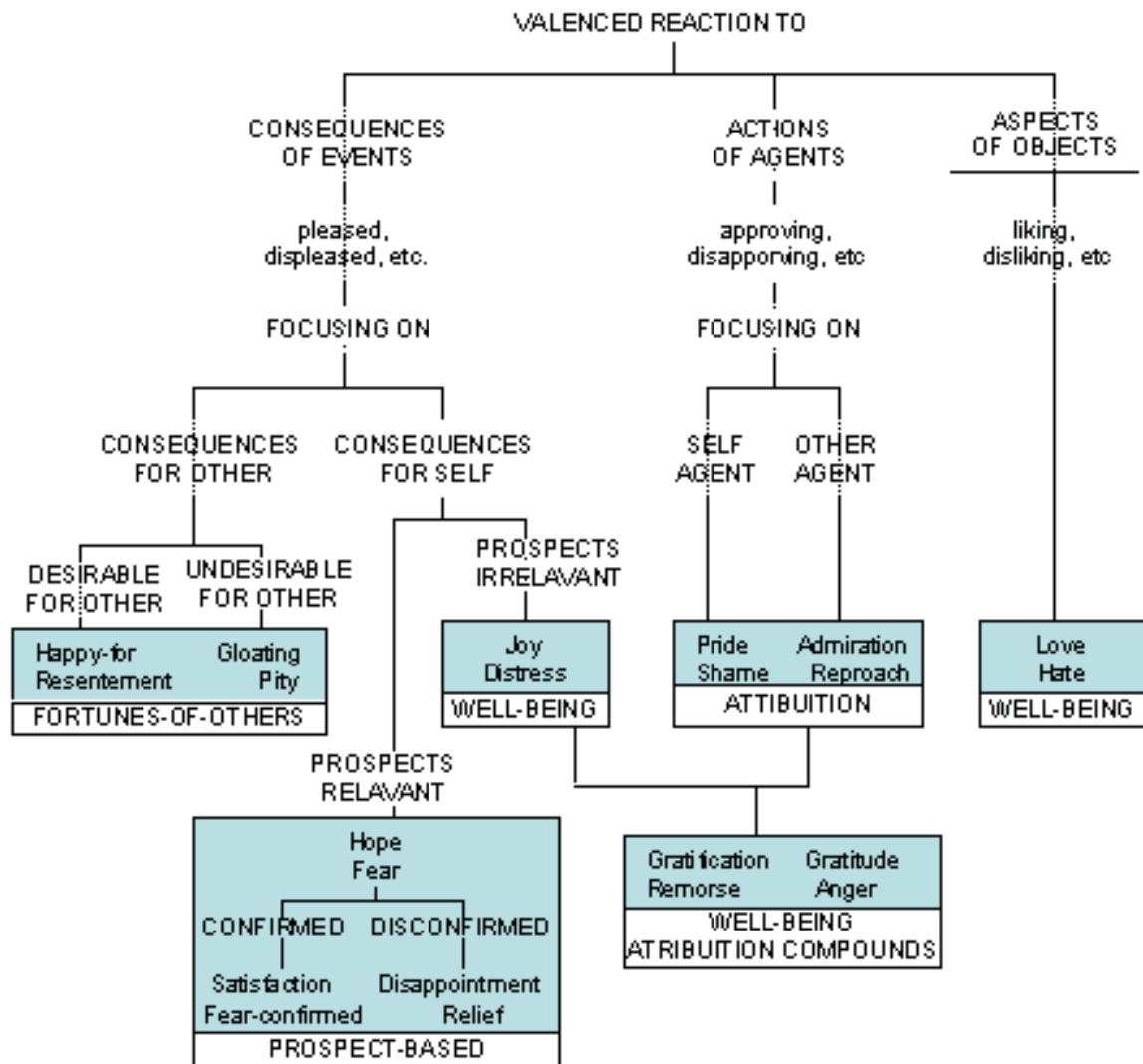


Figura 2.6: Estrutura do Modelo OCC.

Fonte: (Ortony et al., 1988).

Os autores Ortony et al. (1988) avaliam as emoções como reações com valência aos eventos, agentes ou objetos, em que suas características são determinadas pelo modo que a situação é iniciada (Scherer et al., 2001). A intensidade dessas reações podem ser determinantes para a geração da emoção da pessoa. Para constatar a intensidade de uma emoção, pode-se utilizar o conceito de "variáveis de intensidade", classificadas como variáveis globais (senso de realidade, proximidade, etc.), aquelas que atingem todas as emoções que estão no escopo de identificação, e as locais (probabilidade do evento ocorrer, esforço para atingir o objetivo, possibilidade da realização do objetivo, etc.), que podem afetar uma ou mais emoções (Bercht, 2001).

2.1.2 Reconhecimento dos Estados Afetivos

As pesquisas indicam que não existe um consenso e um conceito único para definir emoção, que muitas vezes é utilizado de forma desmedida (Picard et al., 2004; Jaques e Vicari, 2005; Scherer, 2005; Longhi et al., 2007a). A emoção "é considerada como um

elemento do conjunto genérico de estados afetivos, no qual, também, encontra-se o humor, entre outros" (Oliveira e Jaques, 2013, p. 41). A emoção aborda as relações entre incentivos externos, pensamentos e mudanças nos sentimentos internos (Picard, 1997).

O estado afetivo pode ser visto como o conjunto das atributos que definem a emoção em um indivíduo em um dado momento (Bercht, 2001). Estes estados podem ser manifestados, voluntariamente ou não, de diversas formas, tais como: expressões faciais; fala; gestos; postura; comportamento; reações fisiológicas; dentre outros. Da mesma forma a inferência da emoção pode utilizar um dos modos indicados acima, por exemplo a fala, ou mais de uma, fala e comportamento.

A manifestação do estado afetivo é uma forma de comunicação que pode ser compreendida por meio dos sentidos (ambiente real) ou por instrumentos mediadores. Essa comunicação ocorre por meio de um padrão e dessa forma pode ser representada computacionalmente. Para Picard (1997), o reconhecimento de estados afetivos é uma questão de reconhecimento de padrões.

Na aprendizagem e nos processos cognitivos desenvolvidos pelos aprendizes, os estados afetivos desempenham um papel importante tal como criatividade, tomada de decisão e memorização (Pekrun, 2011; Arguedas et al., 2018). Determinados estados afetivos como confusão, onde o aprendiz experimenta desequilíbrio cognitivo e é forçado a pensar, estão positivamente correlacionados com a aprendizagem (Craig et al., 2004), enquanto que outros estados como frustração, tédio, ansiedade e desespero podem afetar negativamente a aprendizagem (Kort et al., 2001).

O estado afetivo pode limitar e, em alguns casos, até impossibilitar a compreensão e o aprendizado (Santos et al., 2014). Ou seja, os estados afetivos podem atuar de forma positiva ou negativa no processo de ensino e aprendizagem. Para Feidakis et al. (2012), uma forma de acompanhar esse processo seria o estado afetivo do aprendiz ser inferido e avaliado:

- **Antes da atividade** - geralmente a procura do estado afetivo humor e disposição; se ele for negativo a atenção será desviada e não haverá preocupação com o aprendizado;
- **Em paralelo com a atividade** - estado afetivo inferido durante o processo de resolução da atividade;
- **Após a atividade** - avaliação ocorre após a conclusão da atividade.

Jaques e Vicari (2007) apresentam uma classificação sobre a inferência de estados afetivos em quatro grupos principais:

- expressões faciais;
- sinais fisiológicos, que considera os batimentos cardíacos, tensão muscular, condutividade da pele e respiração;
- dados comportamentais, que são ações e escolhas do aprendiz na interface do sistema;
- linguística, compreendida por voz e semântica.

O estado de frustração, por exemplo, pode ser inferido por meio de dados comportamentais considerando o tempo despendido na tentativa de resolver um algoritmo, ou ainda no elevado número de vezes de compilação sem sucesso.

Uma das formas mais utilizadas pelo homem para reconhecer emoções é por meio das expressões faciais (Ekman, 1999; Libralon, 2014). Ekman acrescenta ainda que elas estão relacionadas a mudanças na fisiologia da emoção. A expressão facial é um dos meios mais

importantes de comunicação de emoções (Picard, 1997; Reis et al., 2018). Além das expressões faciais fornecem informações a respeito do estado afetivo, ela também provê informações sobre a "atividade cognitiva, temperamento e personalidade, veracidade e psicopatologia" (Donato et al., 1999, p. 974).

O reconhecimento dos estados afetivos por meio das expressões faciais são amplamente empregadas em ambientes educacionais computacionais (Oliveira e Jaques, 2008; D'Mello, 2012; Reis et al., 2018). O trabalho de revisão de Reis et al. (2018) sobre reconhecimento de emoções dos aprendizes em Sistemas Tutores Afetivos¹, mostra que a maioria dos estudos, 46%, são por meio das expressões faciais, seguido por sinais fisiológicos com 20%. E as emoções mais inferidas são as emoções secundárias, tédio, frustração e confusão, seguidas das emoções primárias, raiva, surpresa, aversão, medo e tristeza.

Recursos tecnológicos, como uma *webcam* e algoritmos computacionais, podem ser utilizados para inferir as características faciais dos aprendizes durante o processo de interação com o sistema. Existe uma diversidade de métodos em que a inferência pode ser baseada em características geométricas (posições e as distâncias entre pontos faciais, por exemplo) ou baseada em aparência (mapas de intensidade, cores) (Valstar, 2008). Geralmente as características faciais utilizadas são o formato da boca, dos olhos, sobrancelhas e nariz (Reis et al., 2018).

O Sistema de Codificação de Ações Faciais (FACS - *Facial Action Coding System*) criado pelos psicólogos Paul Ekman e Wallace V. Friesen, é um método para categorizar o movimento facial por ações musculares chamadas de Unidades de Ação (AUs - *Action Units*). São definidas 44 AUs, cada uma com um código numérico e seus respectivos músculos. Esses músculos quando acionados produzem um determinado movimento da face, por exemplo: AU1 - levantamento da sobrancelha interna; AU2 - levantamento da sobrancelha externa. Por exemplo, quando uma pessoa demonstra que está sentindo medo é possível observar a ocorrência simultânea das AUs 1, 2, 4, 5 e 25 na sua face (Oliveira e Jaques, 2008). Existem ainda outros métodos e técnicas para identificar expressões faciais associadas à emoção (Sayette et al., 2001), como:

- **FAST** (*Facial Action Scoring Technique*) - Técnica de Pontuação de Ação Facial;
- **MAX** (*Maximally Discriminative Facial Movement Coding System*) - Sistema de codificação de movimento facial maximamente discriminativo;
- **EMFACS** (*Emotion Facial Action Coding System*) - Sistema de Codificação de Ação Facial Emocional;
- **AFFEX** (*System for Identifying Affect Expressions by Holistic Judgment*) - Expressões afetadas por julgamento holístico.

De modo geral para reconhecer emoções por meio de expressões faciais é necessário realizar as seguintes etapas:

- identificar a face;
- identificar as características faciais que são consideradas relevantes em uma expressão (olhos, sobrancelhas, nariz, boca, por exemplo);
- classificar a expressão facial mediante o uso de classificadores (aprendizagem de máquina) ou de modelos psicológicos de codificação facial (por exemplo, FACS);
- inferir emoção (combinação das AUs).

¹Os Sistemas Tutores Afetivos possuem todas as características de um STI e agregam a inferência dos estados afetivos, assim como a capacidade de responder a esses estados afetivos de forma personalizada.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração sobre o reconhecimento de emoções faciais é o ambiente, pois fatores como a iluminação, alterações de postura, oclusão e movimento da cabeça dificultam a realização dessa tarefa (Shojaeilangari et al., 2015).

2.2 CLASSIFICAÇÃO DE ERROS

Para Borasi (1987) o erro desempenha um papel importante na aprendizagem de matemática, pois pode promover uma compreensão mais profunda e completa do conteúdo, sendo usado como um dispositivo motivacional. Conforme Marczał (2014), o erro faz parte da trajetória escolar dos aprendizes que independe de idade e/ou de nível de desempenho, sendo uma das etapas fundamentais do processo de aprendizagem. Os erros podem oportunizar o diagnóstico das dificuldades de aprendizagem e com isso gerar possibilidades de avaliar individualmente o desempenho dos aprendizes (Radatz, 1980).

Diagnosticar erros cometidos pelos aprendizes em resoluções de exercícios pode contribuir no sentido de orientar e apoiar o aprendiz na compreensão de erros, para que posteriormente seja capaz de remediá-los (Ramos, 2010). Neste sentido, o erro pode ser usado como suporte no processo de ensino e aprendizagem, pois permite ao aprendiz realizar uma análise da situação e, ao mesmo tempo, uma revisão de conceitos e conteúdos. Ou seja, o erro não é visto como algo negativo e sim um momento favorável à construção do conhecimento, com uma possibilidade de explorar suas potencialidades para melhorar a aprendizagem.

Como exemplo de sistemas que realizam a identificação dos erros dos aprendizes, tem-se na área de conhecimento de programação de computadores o LISP Tutor, no ensino da linguagem LISP (Anderson e Reiser, 1985), e o na área da matemática o Geometry Tutor, tutor de geometria (Anderson et al., 1985).

Para Leite et al. (2012), a necessidade de conhecimentos específicos do conteúdo a ser abordado e as causas que originam a situação de erro é um grande desafio para o diagnóstico de erros matemáticos. E ainda neste contexto, observa-se que a diversidade e a complexidade desses erros tornam a tarefa de classificação de erros mais trabalhosa. Estudos como os de Radatz (1979), Vergnaud (1982), Movshovitz-Hadar et al. (1987), Peng e Luo (2009) e Ramos (2010) apresentam modelos ou teorias sobre classificação de erros matemáticos.

A partir da sistematização dos estudos acima indicados sobre classificação de erros, Leite et al. (2012) propôs uma nova classificação de erros matemáticos com os seguintes tipos de erros:

- **Interpretação equivocada:** este tipo de erro adverte para a dificuldade do aprendiz em avançar na compreensão da estrutura do problema para assim ser formulada uma estratégia. Ou seja, o aprendiz demonstra dificuldades para interpretar o que está sendo apresentado ou solicitado;
- **Diretamente identificáveis:** esta classificação trata da deficiência no uso das informações, na dificuldade do aprendiz reorganizar ou generalizar conceitos e na deficiência da escolha do operador correto. Dessa forma, este tipo foi subclassificado como erro de deficiência no domínio ou uso inadequado de dados, erro de deficiência de regra, teorema ou definição, e erro relacionado a uso de operador;
- **Indiretamente identificáveis:** este tipo de erro considera o erro apresentado pela falta de lógica correta, demandando um acompanhamento passo-a-passo do aprendiz. O aprendiz pode apresentar uma classificação incorreta, uma resposta para uma estratégia incorreta e/ou transformação sem avanço;

- **Solução não-categorizável:** nesta classificação são incluídos os erros que não estejam compreendidos entre os demais tipos. Neste cenário, pode-se dizer que o aprendiz estaria no nível máximo de imaturidade para um determinado conceito e com isso propor estratégias aleatórias à resolução.

A classificação de erros apresentada por Leite et al. (2012, p. 3), "tende a viabilizar uma remediação por meio de MRE (Múltiplas Representações Externas), com o objetivo de permitir a revisão de fatos, regras e conceitos esquecidos". Desta forma, além dos tipos de erros a proposta contempla uma subclassificação do erro, a função das MREs (técnicas utilizadas para representar, organizar e apresentar o conhecimento) correspondente, assim como a sugestão da remediação. A Tabela 2.4 apresenta a visão geral desta classificação.

Tabela 2.4: Classificação de erro.

Tipo de Erro	Subclassificação	Função das MREs	Remediação
Interpretação equivocada	-	Papéis complementares	Propor outras formas de apresentar o problema com a possibilidade de o aprendiz fazer uma releitura a partir de uma simbolização matemática.
Diretamente Identificáveis	Deficiência em relação ao domínio ou uso inadequado de dados	Funções de restrição de interpretação	Mostrar que, embora a estratégia possa estar correta, a deficiência se encontra no uso das informações.
	Deficiência de regra, teorema ou definição.	Compreensão mais aprofundada	Apresentar a regra ou teorema, com o propósito de o aprendiz reorganizar conceito ou generalizar.
	Deficiência na escolha do operador correto.	Compreensão mais aprofundada	Apresentar ao aprendiz que seu equívoco encontra-se na escolha do operador correto.
Indiretamente identificáveis	-	Restrição de interpretação	Mostrar ao aprendiz que a lógica adotada não resulta na solução do problema.
Solução não categorizável	-	Compreensão mais aprofundada	Propor ao aprendiz a revisão de conceitos elementares ou presente na base de Domínio.

Fonte: (Leite et al., 2012).

Leite et al. (2012) destaca que tanto o uso da classificação de erro como o vínculo a função de MRE devem ter a contribuição de um especialista no domínio do conhecimento a ser explorado, pois o especialista compreende a complexidade e a relevância da particularidade de cada remediação.

2.3 SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

Os primeiros sistemas computacionais para uso no ensino surgiram nos anos 1960, os chamados CAI (*Computer Assisted Instruction* - Instruções Assistidas por Computador) que utilizavam-se do método da instrução programada (método de ensino em que o conteúdo a ser ensinado é organizado em módulos). Dessa maneira os módulos eram apresentados aos

aprendizes de forma progressiva e sequencial, de modo que eles pudessem voltar ou avançar entre os tópicos do módulo. Muitas vezes, ao final da apresentação de um conteúdo, o aprendiz era submetido a uma atividade e, caso a sua resposta fosse diferente da especificada no sistema, ele era impedido de prosseguir. Um dos principais problemas observados por Nwana (1990) nos sistemas CAI é a falta de capacidade em fornecer "*feedback* rico e individualizado" aos aprendizes.

No início da década de 1970, técnicas e métodos de IA são incorporados no desenvolvimento dos sistemas CAI para representar o conhecimento, conduzir a interação com o aprendiz e gerenciar a forma como ocorre o aprendizado durante o uso do sistema, como o objetivo de auxiliar o processo de ensino e aprendizagem (Baranauskas et al., 1999). Assim surgem os ICAI (*Intelligent Computer Assisted Instruction* - Instrução Inteligente Assistida por Computador) com o objetivo de apresentar conteúdos de maneira.

Nos dias de hoje, esses sistemas são chamados de Sistemas Tutores Inteligentes (STI), do inglês *Intelligent Tutoring Systems*, que podem ser definidos como programas de computador que são projetados para incorporar técnicas de IA, com o propósito de prover tutores que sabem "o que", "para quem" e "como" ensinam (Nwana, 1990). STI podem ser conceituados como programas capazes de simular o processo do pensamento humano, em um determinado domínio, e oferecer respostas aos aprendizes com o propósito de ajudar na resolução de problemas e tomada de decisões (Fowler, 1991). STI também são definidos como programas que resolvem, ou ajudam a resolver, problemas que requerem inteligência humana (Hasegawa, 1995). Ou ainda como softwares educacionais que auxiliam os aprendizes e professores no processo de aquisição e transmissão de conhecimento (Marczal et al., 2015).

Os STI podem propiciar aos aprendizes instruções imediatas e adaptadas, seja em conteúdo ou na forma de apresentação, de modo que o "comportamento do STI seja o mais próximo a um professor humano ou mais próximo possível" (Viccari, 1996, p. 12). Pode-se dizer que os STI oferecem auxílio individualizado, participação ativa dos aprendizes de modo que eles possam aprender no seu ritmo. Isso é possível por meio da coleta de dados e da observação do comportamento e das ações dos aprendizes realizadas no sistema (dos Santos e Falcão, 2017).

A pesquisa e o desenvolvimento em STI evoluíram em aspectos técnicos e pedagógicos produzindo soluções para os problemas relacionados com a aprendizagem. O SCHOLAR, projetado por James Carbonell (1970), é considerado o clássico dos STI e foi um dos primeiros a incluir a modelagem de conteúdo. Carbonell levou em consideração a forma como o professor estrutura e desenvolve o conteúdo em sala de aula, e é esta dinâmica que se transfere ao sistema (instrução mais personalizada). O SCHOLAR é um sistema tutorial para ensino de geografia da América do Sul, que pode conduzir um diálogo de iniciativa mista com o aprendiz. SOPHIE (*SOPHisticated Instructional Environment*) (Brown et al., 1975), desenvolvido por John Seely Brown e Richard Burton, apresenta a simulação de uma parte de um equipamento eletrônico com defeito, como se fosse um laboratório onde o aprendiz deve diagnosticar o problema (por meio de perguntas específicas, por exemplo) e dessa forma aplicar seus conhecimentos e receber *feedback*. Assim, o aprendiz aprende pela sua experimentação. Outros exemplos sobre STI são: WEST - habilidades aritméticas básicas (Brown e Burton, 1978); GUIDON - ensino de resolução de problemas de diagnóstico médico básico (Clancey, 1987); LISP Tutor - programação Lisp (Anderson e Reiser, 1985); GEOMETRY Tutor - provas de geometria (Anderson et al., 1985).

Para Nwana "a concepção e o desenvolvimento desses tutores residem na intersecção da ciência da computação, da psicologia cognitiva e da pesquisa educacional; Esta área de intersecção é normalmente referida como ciência cognitiva" (Figura 2.7) (Nwana, 1990, p. 253). A ciência cognitiva tem como objetivo estudar o processo de aquisição de conhecimento por meio

de diversas disciplinas: psicologia, filosofia, antropologia, linguística, neurociência e inteligência artificial.

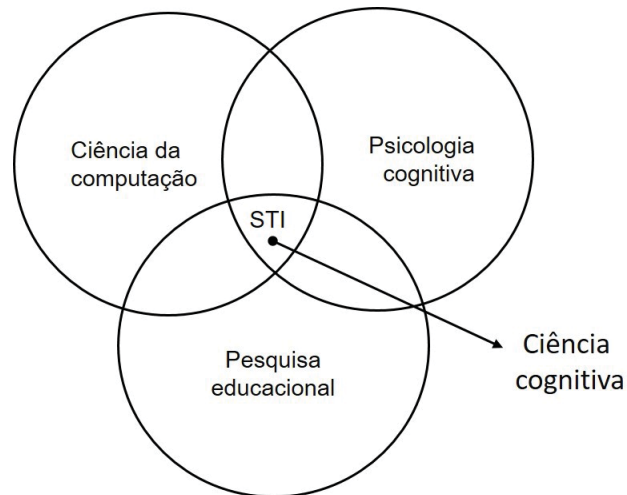


Figura 2.7: Domínio STI.
Fonte: Adaptado de Nwana (1990).

Um STI clássico possui uma estrutura funcional composta por quatro módulos: Módulo do domínio; Módulo do aluno; Módulo tutorial e Módulo da interface (Figura 2.8). Esses módulos compõem a arquitetura tradicional de um STI:

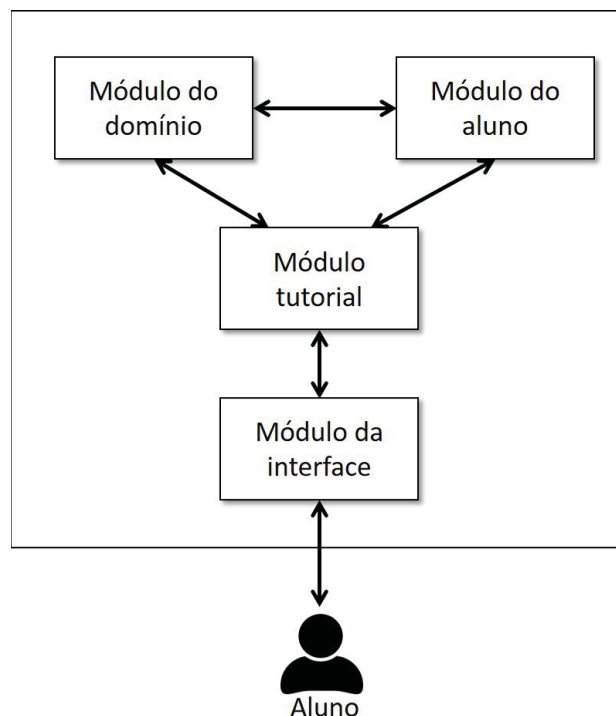


Figura 2.8: Arquitetura geral do STI.
Fonte: Adaptado de Nwana (1990).

- **Módulo do domínio:** é o componente especialista do tutor, que representa o conhecimento no domínio do conhecimento que se deseja ensinar ao aprendiz. A representação do conteúdo a ser ensinado pelo tutor, de modo geral, pode ser chamada de declarativa

quando o domínio for de natureza descritiva e teórica, ou de procedural se o domínio for orientado por tarefas. A representação do conhecimento pode ser feita por meio de redes semânticas, regras de produção entre outras. O módulo contém ainda informações pedagógicas e sobre o desempenho do aprendiz;

- **Módulo do aluno:** é responsável por representar o conhecimento e as habilidades cognitivas do aprendiz inferidas em um determinado momento, além de representar o estado do conhecimento do aprendiz durante a interação com o sistema. As informações obtidas do aprendiz durante a interação com o sistema, juntamente com informações de outros módulos, são utilizadas com o objetivo de melhorar o processo de ensino e aprendizagem. Assim é possível adequar a estratégia de ensino (indicação do tipo de atividade, por exemplo) de acordo com a necessidade de cada aprendiz;
- **Módulo tutorial:** é o módulo encarregado de realizar o mapeamento, definir e aplicar as estratégias de ensino, conforme objetivos propostos, de acordo com as informações sobre o aprendiz. Dessa forma observa-se que utilizando o conhecimento do aprendiz e a estrutura tutorial do módulo é possível: monitorar o desempenho do aprendiz; gerar uma sequência de atividades; definir qual atividade apresentar; e fornecer auxílio ao aprendiz;
- **Módulo da interface:** é por meio desse módulo que o aprendiz e o sistema se comunicam, ou seja, ele é responsável pela interação do aprendiz com o sistema. Alguns recursos são desejáveis para facilitar essa comunicação, como por exemplo apresentar as informações em formatos e meios diferentes, ter a capacidade de mostrar diferentes estilos de interação, ser interativo e fácil de usar.

2.3.1 Modelo de Tutoria

A tutoria na área do ensino já existe desde o século XVIII, quando foi proposta a tutorização da aprendizagem entre pares, em que o tutor era um aprendiz que já havia cursado a disciplina e tinha experiência superior a dos aprendizes da tutoria (Palacios, 2006). Sob orientação de um professor titular, o tutor tinha como responsabilidade acompanhar e orientar os aprendizes, de modo individualizado, em seus estudos com o objetivo identificar seus anseios e motivações. Neste sentido o tutor tem o papel de mediar, orientar, esclarecer dúvidas, assim como fornecer *feedback* do progresso do aprendiz durante o processo de ensino e aprendizagem. Outro ponto importante é que tutor, seja ele humano ou não, deve ser um especialista nos conteúdos que apresentar.

A tutoria é definida como uma "ação de intervenção formativa monitorada para os aprendizes e que é considerada uma atividade de ensino. A tipologia da intervenção e as condições de aplicação determinam o modelo do tutorial a ser aplicado" (Arbizu et al., 2005, p. 8). Para de Faria (2010, p. 29) é o "agente ou gestor da comunicação nos ambientes de aprendizagem". Pode-se dizer que a tutoria consiste na mediação entre o conteúdo e os aprendizes. Ela pode adotar diferentes modalidades, organizadas por função da intermediação (presencial ou não presencial/à distância), do tempo (síncrona ou assíncrona) e do canal (real ou virtual) (Garcia-Aretio, 1999).

O modelo de tutoria é a parte do STI que projeta e estabelece as interações instrucionais com os aprendizes. Do ponto de vista instrucional um STI é formado por (Halff, 1988):

- **Tutoria:** embora os tutores, automatizados e humanos, possam utilizar várias técnicas de instrução, a interação precisa atender três características:

- Deve exercer algum controle sobre o currículo, isto é, a seleção e o sequenciamento do material a ser apresentado;
- Precisa ser capaz de responder às perguntas dos aprendizes sobre o assunto;
- Deve ser capaz de determinar quando os aprendizes precisam de ajuda no decorrer da prática de uma habilidade e que tipo de ajuda é necessária;
- **Currículos e instruções:** entende-se por currículo a seleção e o sequenciamento do material/conteúdo a ser apresentado aos aprendizes. A instrução por sua vez é a apresentação desse material/conteúdo para os aprendizes (em tutores automatizados é necessário um módulo especialista).

Os STI tem a capacidade de adaptar a seleção, o sequenciamento e os métodos de fornecer instruções para atender às necessidades dos aprendizes de forma contínua. "Desenvolver currículos e instruções para tutoria, portanto, é o problema de desenvolver métodos para selecionar e sequenciar materiais e métodos para apresentar esse material" (Halff, 1988, p. 73).

O material instrucional apresentado ao aprendiz pode ser representado por dois métodos de acordo com Rickel (1989):

- **Socrático:** direciona o aprendiz ao longo de uma linha de raciocínio em que o objetivo é levar a uma representação ou resolução correta, por exemplo, SCHOLAR de Carbonell (1970);
- **Coach:** o ambiente oferece ao aprendiz condições de desenvolver atividades, no contexto de jogos computacionais, por exemplo, que possibilitem aprender habilidades relacionadas e habilidades de resolução de problemas. O WEST de Brown e Burton (1978) é um exemplo que aplica o método *Coach*.

Em se tratando do modelo de tutoria, observa-se que a escolha por um modelo "está diretamente relacionada à definição da proposta educacional do curso, porque a ação do tutor atenderá aos objetivos de ensino ou de formação, dependendo do que se deseja como processo de aprendizagem e do resultado que se objetiva alcançar com os aprendizes" (Rêgo, 2010, p. 92).

2.4 INTERVENÇÃO TUTORIAL

A intervenção tutorial é importante para manter o controle da situação do tutorial, para resguardar o aprendiz de uma aprendizagem incorreta ou inadequada, além de impedir que o aprendiz explore caminhos que não sejam instrucionalmente úteis (Halff, 1988; Burns e Capps, 2013). O caminho neste caso refere-se aos objetivos instrucionais.

Ao automatizar o processo de intervenção tutorial é importante realizar um planejamento para definir as seguintes questões:

- quando uma intervenção será acionada? Ou seja, em que momento do processo de ensino e aprendizagem o aprendiz será interrompido;
- qual é o tipo de intervenção tutorial que será apresentada ao aprendiz?
- de que forma o conteúdo da intervenção será exibida.

Duas abordagens são destacadas por Halff (1988) para ajudar a responder a primeira questão sobre as condições que devem ser analisadas para ativar uma intervenção tutorial. São elas:

- **Rastreamento de modelo:** a intervenção tutorial ocorre sempre que o aprendiz se afasta do caminho da solução já conhecida (caminho correto ou caminho da aprendizagem). Isso significa que quando o tutor não consegue identificar positivamente a solução, ou resposta, do aprendiz então nesse momento ocorre uma intervenção. Uma vantagem dessa abordagem é a intervenção quase imediata dos erros dos aprendizes à medida que eles ocorrem;
- **Baseada em questões:** diferentemente da abordagem de rastreamento de modelo, a tutoria baseada em questões não está restrita ao caminho correto. Dessa forma a intervenção pode ocorrer tanto na identificação de um bom desempenho como ruim. O tutor WEST, que utiliza a abordagem baseada em questões, não apresenta uma intervenção quando o aprendiz perde o jogo, mas o parabeniza por suas boas jogadas.

As intervenções tutoriais apresentadas aos aprendizes nos ambientes durante o processo de ensino podem ser: *feedback*; dicas; vídeo; imagens que exemplifiquem um conceito; *scaffolding*; entre outras.

Para a terceira questão, forma de apresentação do conteúdo, Halff (1988, p. 85) sugere que, "à medida que os aprendizes adquirem habilidades, eles podem ser caracterizados em termos de modelos de processamento de informações cada vez mais sofisticados. A intervenção tutorial deve responder à dificuldade específica do aprendiz, além do nível de sofisticação do aprendiz na tarefa".

Quanto ao momento da intervenção cabe ressaltar ainda, segundo Vanlehn (2006), que o comportamento de um STI é composto por dois laços (*loops*):

- um laço externo (*outer loop*) sobre tarefas;
 - O laço externo é responsável por selecionar uma tarefa, geralmente complexa de várias etapas, para o aprendiz resolver.
- um laço interno (*inner loop*) sobre etapas.
 - O laço interno pode prover dicas para cada etapa, avaliar a competência e o progresso do aprendiz, e atualizar o modelo do aprendiz.

Ao atualizar o modelo do aprendiz o laço externo pode selecionar a próxima tarefa apropriada para o aprendiz. O laço externo é executado uma vez por tarefa, enquanto que o laço interno é executado uma vez para cada etapa.

2.4.1 Tipos de Intervenção Tutorial

Este tópico tem como objetivo apresentar as principais intervenções tutoriais utilizadas nos processos de ensino e aprendizagem identificados a partir da literatura.

2.4.1.1 *Scaffolding*

Scaffolding na área da construção civil é definido como uma plataforma ou estrutura provisória que auxilia na construção ou modificação de uma outra estrutura. O termo é utilizado como uma metáfora no processo de aprendizagem, por referir-se ao apoio temporário que é

oferecido ao aprendiz para o desenvolvimento de uma atividade, considerando que de outra maneira ele não teria condição de desenvolver (van de Pol et al., 2010). Esta metáfora foi inicialmente usada por David Wood et al. (1976) para explicar o processo de tutoria em que um especialista auxilia alguém que é menos experiente (neste trabalho a tarefa era a de um professor ensinar crianças de 3, 4 e 5 anos a construir uma estrutura tridimensional específica). O conceito *scaffolding* é tradicionalmente associado à teoria sociocultural de Lev Vygotsky (van de Pol et al., 2010) e seu conceito popular conhecido como Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) (McLoughlin, 2004; Jumaat e Tasir, 2014).

De modo geral *scaffolding* pode ser definido como "uma orientação ou apoio de professores, instrutores ou outras pessoas com conhecimentos que facilitem os aprendizes a alcançar seus objetivos na aprendizagem" (Jumaat e Tasir, 2014, p. 74). Ou seja, prover instruções que auxiliem os aprendizes durante o aprendizado de modo que ao poucos seja desnecessária a apresentação de instruções e dessa forma eles consigam desenvolver seu próprio entendimento e habilidades. Desse modo, a responsabilidade pelo progresso e desempenho na execução de uma atividade é gradualmente transferida para o aprendiz (van de Pol et al., 2010). O objetivo principal do uso de *scaffoldings* é de ajudar os aprendizes a resolver os problemas sozinhos ou alcançar os seus objetivos de aprendizagem, "incluindo recursos, uma tarefa atraente e guias e orientação sobre o desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais" (Tiantong e Teemuangsai, 2013, p. 47).

Em ambientes de aprendizagem virtual os *scaffoldings* podem ser vistos como suportes que, por meio dos recursos e das ferramentas tecnológicas, são oferecidos pelos professores/tutores para auxiliar os aprendizes no processo de aprendizagem. Além disso, outro benefício para os aprendizes é a possibilidade de comunicar-se com outros aprendizes, e dessa forma podem atuar em apoio à aprendizagem do colegas (McLoughlin, 2004). Essas informações precisam ser regularmente monitoradas e registradas para avaliação do progresso dos aprendizes (Jumaat e Tasir, 2014).

De acordo com Hannafin et al. (1999), McLoughlin (2004) e Jumaat e Tasir (2014) existem quatro tipos de *scaffoldings* para ambientes de aprendizagem virtual:

- ***Scaffolding conceitual:*** guia o aprendiz sobre o que considerar na aprendizagem quando a tarefa do problema é definida e contextualizada. Orienta o aprendiz a focar em pontos centrais e conceitos que podem apresentar várias interpretações (McLoughlin, 2004). Hannafin et al. (1999) sugere que de acordo com a necessidade isso seja feito oferecendo ao aprendiz dicas e avisos explícitos. Ou ainda por meio de "cenários paralelos" e problemas que possibilitem ao aprendiz praticar suas habilidades (McLoughlin, 2004);
- ***Scaffolding processual:*** direciona o aprendiz no uso de ferramentas e recursos disponíveis, orientando-o sobre as funções do sistema. Em um ambiente pode ocorrer problema de navegação ou desorientação e, neste caso o *scaffolding* processual pode ser usado para esclarecer ao aprendiz como retornar a um determinado local (Hannafin et al., 1999). Outra sugestão é a de apresentar tutoriais sobre os recursos oferecidos pelo sistema;
- ***Scaffolding estratégico:*** orienta o aprendiz de modo a analisar formas alternativas de resolver tarefas e problemas na aprendizagem. Evidencia abordagens alternativas que podem ser úteis e concentra-se "nas abordagens para identificar e selecionar as informações necessárias, avaliar os recursos disponíveis e relacionar novos conhecimentos ao conhecimento e à experiência existentes" (Hannafin et al., 1999, p. 133). Para McLoughlin (2004), oferecer cenários, eventos e visões diferentes possibilita ao aprendiz participar do planejamento e tomada de decisões;

- **Scaffolding metacognitivo:** guia o aprendiz sobre como pensar durante o aprendizado. Como pensar sobre uma tarefa ou um problema e quais são as possíveis estratégias a serem consideradas. Apoia os processos implícitos relacionados ao gerenciamento e reflexão do aprendizado individual (McLoughlin, 2004). Neste sentido o *scaffolding* metacognitivo pode ser usado para recomendar ao aprendiz que realize planejamento antecipado, avalie o seu desenvolvimento e progresso, além de determinar as necessidades (Hannafin et al., 1999).

Exemplos de trabalhos que utilizam *scaffolding* no processo de ensino e aprendizagem: no trabalho de Yun-Jo (2010) os quatro tipos de *scaffoldings* foram implementados para auxiliar aprendizes de um curso de pós-graduação na resolução de problemas mal estruturados e na aprendizagem colaborativa baseada em *wikis*; o trabalho desenvolvido por Tiantong e Teemuangsai (2013) também aplica os quatro tipos de *scaffoldings* sendo cada um representado por um agente animado em 3D. Os *scaffoldings* foram aplicados na aprendizagem colaborativa baseada em problemas para aprendizes de graduação de um curso de programação de computadores, por meio do Moodle LMS (*Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment - Learning Management System*). Já o trabalho de James e Okpala (2010) aplica apenas o *scaffolding* metacognitivo com o objetivo de verificar o impacto do seu uso para melhorar as estratégias e as habilidades de aprendizagem de um grupo de calouros universitários.

2.4.1.2 Feedback

O *feedback* fornecido em ambientes de aprendizagem presencial, pelo professor ou por um aprendiz, pode ocorrer de várias maneiras, assim como nos ambientes virtuais. No caso dos ambientes virtuais o uso dos recursos tecnológicos ampliam as estratégias de *feedback* que podem ser implementadas.

O termo *feedback* no contexto instrucional remete-se a "todas as informações pós-resposta que informam os aprendizes sobre seu estado real de aprendizado ou desempenho, a fim de regular o processo de aprendizagem na direção dos padrões de aprendizado que buscam" (Narciss, 2013, p. 8). O *feedback* propicia ajuda ao aprendiz de modo que ele tenha condições de solucionar uma tarefa e/ou exercício e com isso avançar no aprendizado (Le, 2016). Um dos objetivos para a utilização desse tipo de intervenção é diminuir a distância entre o estado atual de aprendizagem e o desejado (Hattie e Gan, 2011).

Existem aspectos que precisam ser analisadas quando da definição das estratégias de *feedback*, de acordo com Narciss (2013) são:

- **Escopo e funções de feedback:** o *feedback* pode afetar o processo de aprendizagem em diversos níveis e portanto, pode ter diferentes funções como, reconhecer, reforçar uma resposta correta ou ainda promover a aquisição de conhecimento necessário para a realização de uma tarefa. Pode ainda colaborar para corrigir erros ou estratégias inadequadas de processamento de tarefas;
- **Conteúdo de feedback:** assim como o escopo e funções de *feedback* tem diferentes papéis, os conteúdos também variam entre aspectos avaliativos (verificação) e informativos (dicas, sugestões, analogias, explicações, perguntas de orientação e exemplos trabalhados);
- **Apresentação de feedback:** a apresentação do conteúdo do *feedback* ao aprendiz deve levar em consideração questões formais e técnicas, como o tempo (*feedback* imediato

ou tardio), cronograma de *feedback* (tentativa única, múltipla ou até resposta correta), modos de representação e estratégia de adaptação.

Além das estratégias de *feedback* relatadas acima (escopo e funções de *feedback*, conteúdo e apresentação), Shute (2008) afirma que é preciso considerar outros fatores, como:

- **Contexto instrucional:**

- objetivos instrucionais;
- as tarefas de aprendizagem;
- erros e obstáculos.

- **Características do aprendiz:**

- objetivos de aprendizagem;
- conhecimento prévio, proficiência e habilidades;
- motivação acadêmica.

Esses fatores interagem com o *feedback* com o objetivo de atuar no processo de ensino e aprendizagem, conforme ilustrado na Figura 2.9.

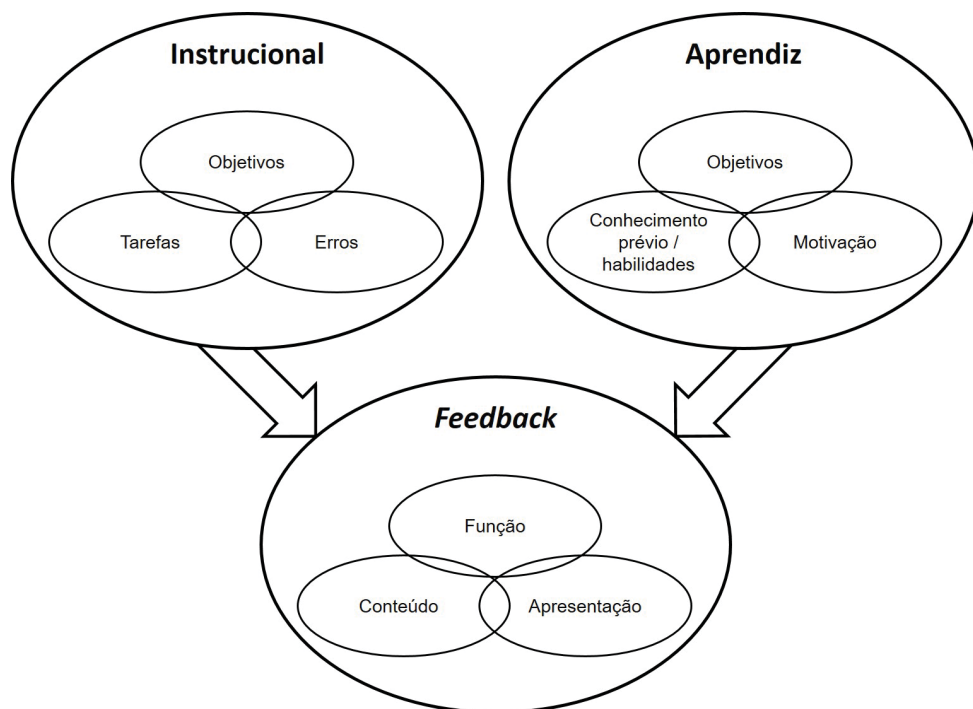


Figura 2.9: Estrutura conceitual dos fatores que interagem com o *feedback*.

Fonte: Adaptado de Shute (2008, p. 173).

Com relação ao tempo de apresentação do conteúdo de *feedback*, ser imediato ou tardio, Dempsey (1993) apresenta algumas considerações:

- ***Feedback imediato:*** é corretivo informativo dado a um aprendiz durante o processo de interação com ambiente ou com a tarefa. Os *feedback* imediatos podem ser do tipo: "item por item; controlado pelo aprendiz; quebra de conteúdo lógico; fim do módulo ou sessão; e controlado pelo tempo (fim da sessão)" (Dempsey, 1993);
- ***Feedback tardio ou atrasado:*** é informativo, *feedback* corretivo dado a um aprendiz após um determinado intervalo. Para Dempsey (1993) os tipos são: "item por item; quebra de conteúdo lógico; menos de 1 hora (fim de sessão); 1-24 horas (final da sessão); 1-7 dias (final da sessão); atraso prolongado (final da sessão); e antes da próxima sessão".

A seguir são apresentadas algumas classificações sobre os tipos de *feedback*. A primeira classificação a ser descrita foi criada por Fleming e Levi (1993) e é baseada na função de *feedback*. O autor descreve cinco níveis de *feedback*, que são:

- ***Feedback de confirmação:*** indica a precisão de uma resposta ao aprendiz, ou seja, informa se a resposta está correta ou incorreta. Como apresenta pouca informação não é recomendada para respostas incorretas. O *feedback* de confirmação também pode ser chamado de conhecimento de resultados;
- ***Feedback corretivo:*** fornece informações complementares à resposta incorreta fornecida pelo *feedback* de confirmação, com o conhecimento da resposta correta ou desejada. Esse tipo de *feedback* ajuda a identificar o raciocínio incorreto;
- ***Feedback explicativo:*** explica por que uma resposta está incorreta, pois normalmente identifica informações que são relevantes e na sequência representa a progressão dos principais eventos até chegar na resposta desejada;
- ***Feedback de diagnóstico:*** procura identificar equívocos por meio da comparação da resposta do aprendiz com erros comuns. Quando identificado o equívoco, o *feedback* de diagnóstico normalmente evidencia o erro e busca indicar uma solução;
- ***Feedback elaborativo:*** tenta fornecer informações adicionais para complementar ou ampliar o conhecimento que está sendo avaliado na questão correspondente. Esse tipo de *feedback* procura promover o significado a partir da criação de ligações entre o conteúdo novo e o conhecimento prévio do aprendiz.

A Figura 2.10 ilustra um exemplo sobre estratégia de *feedback* definido por Fleming e Levi (1993). Apresenta ainda exemplos de mensagens de texto para os cinco níveis de *feedback*.

<p>Confirmação</p> <p>Sua resposta estava incorreta.</p>
<p>Corretiva</p> <p>Sua resposta estava incorreta. A resposta correta foi "Jefferson".</p>
<p>Explicativo</p> <p>Sua resposta estava incorreta porque Carter era da Geórgia. De todos os listados, apenas Jefferson chamou Virgínia de "Iar".</p>
<p>Diagnóstico</p> <p>Sua resposta estava incorreta. Sua escolha por Carter sugere que alguma instrução extra sobre os estados de origem de ex-presidentes pode ser útil.</p>
<p>Elaborativa</p> <p>Sua resposta, Jefferson, estava correta. A Universidade da Virgínia, um campus rico em arquitetura e escritos de Jefferson, é algumas vezes referida como a escola de Thomas Jefferson.</p>

Figura 2.10: Exemplo de estratégias de *feedback*.
Fonte: Adaptado de Fleming e Levi (1993, p. 221).

A próxima classificação é baseada no conteúdo de *feedback* e foi descrita por Economides (2005). A classificação apresenta oito tipos de *feedback*, que são:

- **Sem *feedback*:** esse tipo não possui conteúdo;
- **Conhecimento da resposta:** verifica se a resposta do aprendiz está correta ou incorreta;
- **Resposta até que seja correta:** é solicitado ao aprendiz para tentar novamente até que a resposta esteja correta;
- **Conhecimento da resposta correta:** o *feedback* informa qual é a resposta correta;
- **Tópico contingente:** verifica a resposta do aprendiz e elabora o *feedback* sobre o tópico geral;
- **Resposta contingente:** verifica a resposta do aprendiz, e apresenta explicações sobre ela, explica porque a resposta correta está correta e a resposta incorreta está incorreta;
- **Bug relacionado:** verifica a resposta e apresenta quais são os erros comuns cometidos pelo aprendiz;
- **Isolamento de atributos:** verifica a resposta do aprendiz e identifica os atributos centrais do conceito de destino.

A classificação de Narciss (2013) também é baseada no conteúdo de *feedback* e apresenta quatro tipos, sendo o último subdividido em cinco sub-tipos, são eles:

- **Conhecimento do desempenho:** fornece ao aprendiz informações após a conclusão de um exercício ou de uma série de tarefas/etapas de um exercício complexo. O *feedback* pode ser o número de erros/acertos cometidos, o número de tentativas para solucionar a tarefa, ou ainda a porcentagem de tarefas resolvidas corretamente;
- **Conhecimento do resultado:** o *feedback* apresentado ao aprendiz traz informações a respeito da exatidão, ou da qualidade de sua resposta ou ainda do resultado real. O *feedback* pode ser simplesmente a indicação de que a resposta está incorreta ou correta;
- **Conhecimento da resposta correta:** fornece com conteúdo de *feedback* à resposta correta ou uma solução como modelo para a tarefa;
- **Feedback elaborado:** além de apresentar informações do conhecimento do resultado ou conhecimento da resposta correta, o tipo *Feedback* elaborado fornece informações adicionais (por exemplo, sugestões, explicações, questões de orientação). O autor sugere a subdivisão desse tipo em função da variedade de informações:
 - **Conhecimento sobre restrições de tarefas:** apresenta informações sobre regras de tarefas, restrições de tarefas e/ou requisitos de tarefas;
 - **Conhecimento sobre conceitos:** aborda o conhecimento conceitual fornecendo ao aprendiz informações como, por exemplo, sugestões contingentes a respostas sobre atributos conceituais ou exemplos de isolamento de atributos;
 - **Conhecimento sobre erros:** apresenta ao aprendiz informações sobre erros ou equívocos, por exemplo, indicando o local do erro ou oferecendo dicas sobre o tipo de erro;
 - **Conhecimento sobre como processar a tarefa:** aborda o conhecimento procedimental, por exemplo, estratégias de resolução de problemas;
 - **Conhecimento sobre metacognição:** possibilita o conhecimento metacognitivo e as estratégias que são necessárias para auto-regulação do processo de aprendizagem, por exemplo, dicas ou sugestões contingentes sobre fontes úteis de informação.

O fato de oferecer aos aprendizes uma variedade de *feedbacks* não indica que haverá aprendizagem, "a simples prescrição de muitos *feedbacks* não implica que a aprendizagem ocorrerá, pois é preciso levar em consideração os efeitos diferenciais do *feedback* sobre a aprendizagem, bem como sobre os aprendizes" (Hattie e Gan, 2011, p. 249). Ele comenta ainda que o *feedback* pode ser considerado bem sucedido quando for "direcionado ou levemente acima do ponto em que o aprendiz está se desempenhando na curva de aprendizado, do novato à proficiência a ser realizada" (Hattie e Gan, 2011, p. 265).

A pesquisa de McKendree (1990) teve como objetivo avaliar o impacto de diferentes tipos de conteúdo de *feedback* sobre os aprendizes com o mesmo nível de habilidade. Foram criados quatro grupos e cada um recebeu um tipo de *feedback*. O experimento foi aplicado com o Geometry Tutor (projetado para monitorar e estruturar a solução de problemas do aprendiz) para aprendizes de geometria do ensino médio. Os tipos de *feedback* são:

- **Feedback mínimo:** aprendiz recebe informações mínimas sobre a exatidão da sua resposta, por exemplo, "Esta regra não se aplica às premissas que você escolheu";

- **Feedback de violação de condição:** pode indicar ao aprendiz qual etapa deve ser seguida na sequência, ou ainda indicar um equívoco sobre a aplicação incorreta de uma regra, por exemplo, "A transitividade aplica-se a dois pares de segmentos congruentes, mas você selecionou apenas um par de segmentos iguais";
- **Feedback de meta ou de objetivo:** fornece ao aprendiz um estímulo ou uma sugestão do caminho que o aprendiz precisa seguir para conseguir encontrar a solução correta, por exemplo, indicar qual o primeiro passo da resolução de problemas;
- **Feedback combinado:** combinação dos tipos *Feedback* de violação de condição e *Feedback* de meta ou de objetivo.

Os resultados da pesquisa de McKendree (1990) indicam que o tipo de conteúdo do *feedback* pode impactar na eficácia do *feedback*, e que a aquisição de habilidades pode ser melhorada por meio de um *feedback* desenvolvido adequadamente. Além disso o autor da pesquisa destaca que a principal conclusão é de que "as informações sobre a natureza do erro e os procedimentos para a execução correta são mais eficazes para o aprendizado e posterior resolução de problemas do que simplesmente serem informados de que um erro foi cometido e depois explorados sem orientação adicional" (McKendree, 1990, p. 408).

Exemplos de trabalhos que envolvem *feedback*: O trabalho de Karkalas e Gutiérrez-Santos (2014) apresenta um ambiente de aprendizado exploratório (ELE - *Exploratory Learning Environment*) para o ensino de programação introdutória para estudantes universitários usando *JavaScript*. O sistema é adaptável, oferece suporte personalizado, fornece *feedback* na forma de ajuda e/ou perguntas, dependendo dos erros dos aprendizes e de experiências passadas. O tipo de intervenção apresentada pelo sistema depende do nível de dificuldade do aprendiz. No caso do aprendiz cometer o mesmo erro repetidamente o sistema irá indicar a intervenção de um tutor humano. O trabalho de Mitrovic et al. (2011), o Thermo-Tutor, é um STI que oferece oportunidades para os aprendizes praticarem suas habilidades resolvendo problemas sobre ciclos termodinâmicos em sistemas fechados. A resolução do problema ocorre em duas etapas: desenhar o diagrama e calcular as incógnitas. O sistema fornece *feedback* sobre a solução enviada pelo aprendiz, neste momento o tutor avalia a solução em relação às restrições em sua base de conhecimento (qualquer restrição violada representa um erro na solução do aprendiz). O *feedback* implementado no sistema possui vários níveis, que aumenta a cada envio incorreto ou incompleto. Na primeira vez que é detectado erro o *feedback* apresentado é do tipo confirmação ou conhecimento da resposta, ou seja, apenas informa que está incorreta; na segunda vez o nível de *feedback* aumenta e o aprendiz é informado da localização do erro, por exemplo. Assim, o *feedback* vai desde uma simples sinalização de erro até chegar na apresentação da solução completa.

2.4.1.3 Dica

Uma outra estratégia utilizada como intervenção tutorial em ambientes de ensino por professores, tutores humanos e até mesmo por sistemas computacionais são as dicas ou sugestões (*tips or hints*). As dicas podem ser vistas como uma tática para "transmitir informações diretamente ou apontar para informações que o aprendiz já possui"; ou ainda "leva o aprendiz, passo a passo (em uma linha direta de raciocínio), a uma resposta" (Hume et al., 1996, p. 25). As dicas auxiliam os aprendizes durante o processo de aprendizagem, de modo que eles pensem sobre o conteúdo ou em um tópico, sem dar diretamente a resposta (Merino et al., 2008). Elas ajudam os aprendizes a lembrarem as regras de domínio relacionadas ou os fatos com os quais os aprendizes possa ter problemas (Zhou et al., 1999).

As dicas apresentadas aos aprendizes tem como objetivo: lembrá-los das informações que se presume serem de seu conhecimento, ou seja, estimular a recordação de fatos que o auxiliem a responder a uma pergunta, por exemplo; sugerir que realizem inferências necessárias de modo que os aprendizes possa responder uma questão ou resolver um problema. De acordo com Hume et al. (1996) as dicas podem encorajar os aprendizes a se envolverem em processos cognitivos ativos que são pensados para promover uma compreensão mais profunda e retenção a longo prazo.

Para que uma dica seja pedagogicamente útil, existe a necessidade de adequar a estratégia de dicas às necessidades do aprendiz, sem esquecer de considerar que a estratégia precisa se enquadrar no plano e no contexto de tutoria (Zhou et al., 1999).

Uma categoria de intervenção tutorial do tipo Dica é apresentada por Hume et al. (1996), são elas:

- **Informação transmitida:** a informação transmitida (CI - *Conveyed Information*) consiste em enunciados que transmitem informações explícitas ao aprendiz na forma de um fato, uma explicação ou um resumo. Isso não quer dizer que a resposta está sendo dada ao aprendiz, o que ocorre na verdade é a solicitação ao aprendiz para que infira ou recorde de uma resposta, ou ainda da próxima etapa de uma solução;
- **Apontar para:** essa categoria *Pointing To* (PT), inclui enunciados que fazem menção à informação que se pressupõe estar disponível para o aprendiz. É como se fosse apontado para a localização da informação em uma base de conhecimento, mas sem transmitir a informação;
- **Linha direta de raciocínio:** a terceira categoria é chamada de linha direta de raciocínio (DLR - *Directed Line of Reasoning*) e oferece uma sucessão de perguntas, ou sugestões, que fazem com que o aprendiz tenha que pensar sobre cada uma das etapas até chegar em uma solução.

Hume et al. (1996) destaca que a principal diferença entre as categorias CI e PT é a natureza da atividade cognitiva exigida do aprendiz para usar a dica. Afirma ainda que "uma dica de CI fornece informações imediatamente necessárias para que os aprendizes produzam a resposta desejada, ao passo que uma dica de PT exige que os aprendizes recuperem as informações que estão sendo apontadas por seu próprio conhecimento e usem essas informações para resolver o problema em questão" (Hume et al., 1996, p. 30).

As dicas fornecidas na categoria DLR são similares as dicas fornecidas por CI e PT, pois é solicitado ao aprendiz respostas corretas e não apenas fornecendo a solução (Hume et al., 1996). Contudo as perguntas são geralmente simples e "exigem que o aprendiz pense em relações causais únicas no domínio. O aprendiz é assim guiado por meio de um processo de raciocínio causal" (Hume et al., 1996, p. 31).

Shun et al. (2015) desenvolveu o *Emotion Regulation Agent* (ERA), um agente regulador de emoções, que avalia o estado de emoção do aprendiz durante o processo de aprendizagem e seleciona os ajustes necessários para sustentar uma emoção positiva de aprendizado. O sistema de dicas utilizado pelo ERA adota a categorização de Hume et al. (1996).

As dicas são compostas por quatro componentes distintos: (a) explicações (são diretas e relevantes de modo a apresentar parte da base de conhecimento; a explicação pode ser sobre um conteúdo desconhecido, por exemplo); (b) resumos (revisões das previsões do aprendiz); (c) perguntas (auxilia a responder a questão original); e (d) Confirmações negativas (explícitos, enfáticos ou sutis) (Hume et al., 1996).

Exemplos de trabalhos que utilizam dicas como intervenção tutorial: Merino et al. (2008) desenvolve uma especificação para a provisão de dicas em aprendizado baseado em problemas; Anohina (2007) implementou em um STI uma abordagem que fornece habilidades adaptativas suportando dois modos de resolução de problemas e aplicando um modelo de dicas (o aprendiz resolve problemas e recebe as dicas adequadas); Hjert-Bernardi et al. (2012) apresenta duas técnicas diferentes de dica, uma visual e a outra frase, incorporadas em um jogo para o ensino dos principais conceitos da tabela periódica de elementos; e Zhou et al. (1999) implementa estratégias de dicas e sugestões em um STI chamado CIRCSIM-Tutor para fornecer dinamicamente dicas versáteis no diálogo de tutoria.

2.5 CONSIDERAÇÕES

Considerando a abordagem desta tese que visa a apresentação de um modelo de intervenções tutoriais a partir da identificação do tipo de erro cometido pelo aprendiz, além de inferir o seu estado afetivo, neste capítulo puderam ser verificados os conceitos sobre as diferentes áreas de conhecimento que estão relacionadas com o desenvolvimento da presente pesquisa. Foram apresentados conceitos sobre computação afetiva, modelos e algumas formas utilizadas para realizar o reconhecimento das emoções. Na sequência foram apresentadas algumas considerações sobre a importância do erro no processo de ensino e aprendizagem, assim como um classificador de erros matemáticos. Os STI com sua capacidade de propiciar instruções imediatas e personalizadas aos aprendizes também foram apresentados. Por fim foram descritos sobre as principais intervenções tutoriais utilizadas nos processos de ensino e aprendizagem.

3 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar os trabalhos mais relevantes relacionados ao tema desta pesquisa por meio de um mapeamento sistemático da literatura.

3.1 METODOLOGIA

O mapeamento sistemático é um método científico de pesquisa aplicado para realizar um levantamento, classificação e síntese de estudos primários das publicações científicas mais relevantes da área do trabalho (Petersen et al., 2015).

O processo de mapeamento sistemático foi realizado com base no trabalho de Munzlinger et al. (2012) e Petersen et al. (2015) seguindo as seguintes etapas:

- Planejamento e formalização da pesquisa via Protocolo de Estudo (PE), que abrange a identificação da necessidade do estudo, a execução de estudos primários e a criação do PE;
- Execução da pesquisa de acordo com o PE, ou seja, realizar a calibração e adaptação da expressão de busca, a seleção e a leitura dos trabalhos, além da extração dos dados;
- Sumarização dos dados, momento em que são realizadas as análises quantitativas e qualitativas, a análise dos trabalhos de acordo com os critérios de filtragem e questões de pesquisa e a escrita deste documento. O primeiro passo do mapeamento foi definir o problema de pesquisa, o objetivo, as questões de pesquisa (principal e secundárias) e as palavras-chave, conforme apresenta a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Protocolo de Estudo utilizado na condução do mapeamento sistemático, definindo o problema de pesquisa, objetivo, questão principal e secundárias.

Problema de Pesquisa: Identificar trabalhos de pesquisa que empregam a apresentação automática de intervenções tutoriais a partir do erro do aprendiz em ambientes virtuais de aprendizagem que permitam acompanhar o estado afetivo do aprendiz.

Objetivo: Mapear trabalhos de pesquisa desenvolvidos recentemente que identificam erros, inferem estados afetivos e apresentem intervenções tutoriais em ambientes virtuais de aprendizagem.

Questão Principal (QP01): Quais são as intervenções tutoriais aplicadas em ambientes virtuais de aprendizagem?

Questões Secundárias:

(QP02) O que é considerado para ativar a intervenção tutorial no ambiente virtual de aprendizagem?

(QP03) Quais são as informações usadas para inferir o estado afetivo do aprendiz?

(QP04) Quais técnicas e ferramentas computacionais são utilizadas para a inferência?

(QP05) O ambiente virtual de aprendizagem identifica ocorrência de erros do aprendiz?

(QP06) Quais são as principais contribuições?

O passo seguinte foi definir os critérios de seleção, também chamados de filtros, que se referem aos critérios utilizados para decidir se uma publicação é ou não aceita para estudo mais aprofundado. Esses critérios são divididos em dois filtros, o primeiro com o objetivo de auxiliar na seleção dos trabalhos mais relevantes, e o segundo na seleção e extração de dados.

Ao aplicar a *string* de busca nas bases digitais não se tem a garantia de que os trabalhos apresentados atendam o escopo desta pesquisa, assim são definidos os critérios de inclusão e exclusão, apresentados na Tabela 3.2. A partir da leitura dos metadados (título, resumo e palavras-chave) dos artigos ocorre a classificação dos trabalhos resultantes da busca. Para um artigo ser classificado deve satisfazer no mínimo um dos critérios de inclusão, e desclassificado quando atender pelo menos um dos critérios de exclusão.

Tabela 3.2: Critérios de inclusão e exclusão utilizados no primeiro filtro do mapeamento sistemático.

Critérios de seleção – 1º Filtro	
Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
CI1F-01: Publicação apresenta estudo sobre intervenção tutorial em ambientes virtuais de aprendizagem com inferência de estado afetivo.	CE1F-01: Publicação na forma de resumos, artigos curtos, relatórios técnicos.
CI1F-02: Publicação apresenta identificação de erro do aprendiz em ambiente virtual de aprendizagem.	CE1F-02: Publicação que não apresenta estudo empírico.
CI1F-03: Publicação que estejam no contexto educacional.	CE1F-03: Publicações em outros idiomas que não Inglês ou Português.
	CE1F-04: Publicações indisponíveis para acesso na íntegra.

O segundo filtro, conforme apresenta a Tabela 3.3, ocorre a partir da leitura na íntegra dos artigos classificados após a aplicação dos critérios do primeiro filtro. Esses critérios auxiliam na extração de conteúdo dos artigos e criar um padrão na extração dos dados.

Tabela 3.3: Critérios de seleção utilizados no segundo filtro do mapeamento sistemático.

Critérios de seleção – 2º Filtro	
A	Apresentação de intervenção tutorial de forma automática
B	Inferência automática do estado afetivo do aprendiz.
C	Identificação automática do erro cometido pelo aprendiz.
D	Apresentação de como ocorrem as intervenções tutoriais.
E	Apresentação de como são identificados os erros dos aprendizes.

Para a pesquisa dos estudos primários foram realizadas buscas nas produções bibliográficas indexadas nas bases de dados ACM Digital Library¹, IEEE Xplore², Science Direct (Elsevier)³, e Springer Link⁴, além dos trabalhos publicados no Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)⁵, Revista Brasileira de Informática na Educação (RBIE)⁶ e Workshop de Informática na Escola (WIE)⁷.

Após definido as bases de dados, o próximo passo constitui na definição da expressão de busca (*string*), aplicada nas bases de dados digitais. A criação da *string* de busca teve como base as questões de pesquisa, com o objetivo de conseguir uma quantidade significativa de estudos primários. As expressões foram criadas, testadas e calibradas em uma das bases de dados e na sequência foram adaptadas para serem utilizadas nas demais.

Essas expressões foram definidas a partir de dois eixos de palavras-chave, no primeiro são utilizadas palavras como *learning*, *intelligent tutoring systems* e *education*. No segundo eixo são utilizadas palavras como *affect*, *emotion*, *tutor*, *intervention* e *error*. Para as bases digitais internacionais as buscas foram realizadas de forma automática, enquanto que para as bases nacionais as buscas foram manuais.

A *string* de busca aplicada na base ACM Digital Library retornou 176 artigos. Na pesquisa realizada na base IEEE Xplore foi obtido um total de 656 artigos. A base de dados da Science Direct (Elsevier) retornou 63 artigos dos periódicos *Computers & Education* e *Computers in Human Behavior*. Os periódicos foram definidos como um filtro, pois inicialmente o retorno foi de 2.400 artigos. A busca efetuada na base Springer Link resultou em 65 artigos. Na consulta realizada ao SBIE, RBIE e WIE foi obtido um total de 59 artigos.

A pesquisa compreendeu o período de 2006 ao primeiro semestre de 2020, porém, ao longo do desenvolvimento desta tese foram lidos artigos publicados no segundo semestre de 2020, estes obtidos por meio de pesquisas em anais de congressos e eventos. Dessa forma, foram retornados 1.019 artigos no total e após aplicação dos critérios do primeiro e segundo filtro foram selecionados 123 artigos. Destes, foram lidos título e resumo para identificação do tema da pesquisa, sendo que os artigos mais relevantes foram lidos na íntegra. Ao fim, 11 artigos, estes que mais contribuíram para a presente tese, são descritos ao longo do capítulo.

A Tabela 3.4 apresenta quais dados são extraídos das publicações selecionadas. O objetivo dessa etapa é responder as questões de pesquisa além de padronizar os dados extraídos de cada publicação lida.

¹<https://dl.acm.org>

²<https://ieeexplore.ieee.org>

³<https://www.sciencedirect.com>

⁴<https://link.springer.com>

⁵<https://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie>

⁶<https://www.br-ie.org/pub/index.php/rbie>

⁷<https://www.br-ie.org/pub/index.php/wie>

Tabela 3.4: Formulário de extração de dados.

Dados extraídos	Descrição	Questão
Intervenções tutoriais	Identificar quais são os tipos de intervenções tutoriais apresentadas aos aprendizes.	QP01
Formas de ativação da intervenção tutorial	Verificar em que momento a intervenção tutorial é exibida ao aprendiz.	QP02
Informação utilizada para inferir o estado afetivo	Identificar quais são as emoções e qual informação é utilizada para inferir o estado afetivo do aprendiz.	QP03
Técnicas e ferramentas	Identificar as técnicas e ferramentas computacionais utilizadas para a inferência dos estados afetivos.	QP04
Ocorrência de erro do aprendiz	Verificar se o ambiente virtual de aprendizagem identifica ocorrência de erros do aprendiz.	QP05
Contribuições para a área	Verificar quais são as principais contribuições dos trabalhos.	QP06

3.2 RESULTADO DO MAPEAMENTO

Em relação às intervenções tutoriais aplicadas em ambientes virtuais de aprendizagem (QP01), verifica-se que: a maioria utiliza o tipo *Feedback* (54,5% - seis artigos); em seguida o tipo *Dica* com 27,3% (três artigos) e o tipo explicações sobre conteúdos, que apresenta explicação de conteúdos, conceitos, tópicos ou sub-tópicos também com 27,3% (três artigos); e o tipo exercícios (com diferente níveis de complexidade) com 9,1% (um artigo). A soma dos percentuais não corresponde a 100% (11 artigos), pois alguns trabalhos utilizam mais de um tipo de intervenção. A Figura 3.1 apresenta os valores percentuais da resposta da questão QP01.

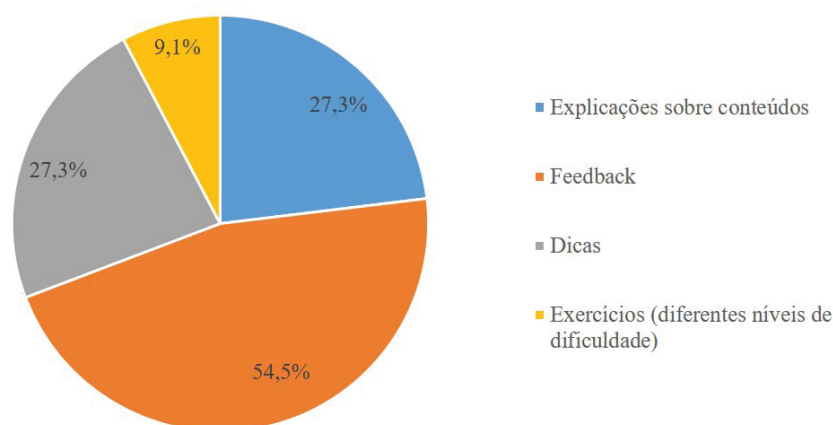


Figura 3.1: Resultado questão QP01 - "Quais são as intervenções tutoriais aplicadas em ambientes virtuais de aprendizagem?".

A Tabela 3.5 apresenta os tipos de intervenções tutoriais que foram identificados e a quais trabalhos estão relacionados.

Tabela 3.5: Intervenções tutoriais x trabalhos.

<i>QP01</i>	<i>Referências</i>
Explicação sobre conteúdos	(Hernández et al., 2006); (Hernández et al., 2008); (Hernández et al., 2009)
<i>Feedback</i>	(Chao et al., 2012); (D'Mello et al., 2008); (Forbes-Riley e Litman, 2011); (Grawemeyer et al., 2017); (Pour et al., 2010); (Tiam-Lee e Sumi, 2018)
Dica	(Cooper et al., 2011); (D'Mello et al., 2008); (Hernández et al., 2007)
Exercícios	(Hernández et al., 2006)

O tipo de intervenção *Feedback* é apresentado para os aprendizes como *feedback* (Chao et al., 2012), (Forbes-Riley e Litman, 2011), (Grawemeyer et al., 2017), (Pour et al., 2010) e *feedback* adaptativo (Tiam-Lee e Sumi, 2018) e (D'Mello et al., 2008). Por exemplo, o sistema desenvolvido para prática de programação, por Tiam-Lee e Sumi (2018), fornece dois tipos de *feedback*: o primeiro é utilizado para ajustar a complexidade dos exercícios apresentados aos aprendizes. Enquanto que o segundo tipo exibe orientações específicas do exercício. O *feedback* será apresentado quando for detectada a presença de confusão no aprendiz, com base nas compilações, presença de digitação e expressões faciais.

Para D'Mello et al. (2008) quando um aprendiz entra em um estado de confusão, a intervenção precisa ser realizada para: encorajar o aprendiz a continuar sua atividade; e alcançar um estado de equilíbrio novamente. Afirma ainda que caso o aprendiz continue em um estado de confusão por um longo tempo, a intervenção tutorial deverá "mostrar empatia com as tentativas do aprendiz, reconhecendo assim suas tentativas de alcançar seus objetivos e afastando-os do estado de confusão antes que desistam" (D'Mello et al., 2008).

Outra aspecto observado refere-se à utilização de agente pedagógico animado para a intervenção (63,6% dos 11 artigos). Em D'Mello et al. (2008) o agente pedagógico, chamado de AutoTutor, sintetiza respostas afetivas através de expressões faciais animadas e fala modulada. O agente do *Wayang Outpost*, sistema de tutoria de matemática, muda a sua expressão, oferece dicas, sugere vídeos sobre conceitos ou problemas similares aos que estão sendo resolvidos, fornece ainda aos aprendizes a opção de alterar o nível de dificuldade do próximo exercício (Cooper et al., 2011).

No trabalho de Hernández et al. (2009) o personagem Robbie do Microsoft Agent representa o agente pedagógico, que tem a tarefa de tentar promover um estado afetivo positivo por meio de suas ações afetivas (uma ação afetiva é uma animação). Essas ações referem-se à maneira pela qual o conteúdo pedagógico é apresentado ao aprendiz, por exemplo, a expressão facial, as cores ou som incluídos na mensagem apresentada pelo agente.

A **QP02** verifica o que é considerado para iniciar uma intervenção tutorial, neste sentido é possível observar por meio da Figura 3.2 que: o estado afetivo corresponde a 54,5% (seis artigos) das formas de ativação de uma intervenção tutorial; a resposta do exercício corresponde a 45,5% (cinco artigos); o estado pedagógico 36,4% (quatro artigos); e os sinais de conversação, linguagem corpórea, sinais fisiológicos, características faciais e autorrelatos com 9,1% (um artigo) cada um.

A Tabela 3.6 apresenta a relação das informações que ativam as intervenções tutoriais e a quais trabalhos estão relacionados.

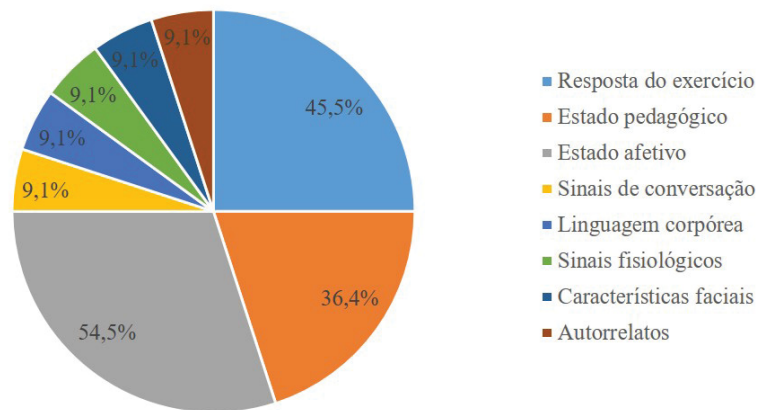


Figura 3.2: Resultado questão QP02 - "O que é considerado para ativar a intervenção tutorial no ambiente virtual de aprendizagem?".

Tabela 3.6: Informações que ativam as intervenções tutoriais x trabalhos.

<i>QP02</i>	<i>Referências</i>
Resposta do exercício	(Chao et al., 2012); (Cooper et al., 2011); (Forbes-Riley e Litman, 2011); (Grawemeyer et al., 2017); (Tiam-Lee e Sumi, 2018)
<i>Estado pedagógico</i>	(Hernández et al., 2006); (Hernández et al., 2007); (Hernández et al., 2008); (Hernández et al., 2009)
Estado afetivo	(Cooper et al., 2011); (Hernández et al., 2006); (Hernández et al., 2007); (Hernández et al., 2008); (Hernández et al., 2009); (Tiam-Lee e Sumi, 2018)
Sinais de conversação	(D'Mello et al., 2008)
Linguagem corpórea	(D'Mello et al., 2008)
Sinais fisiológicos	(Pour et al., 2010)
Características faciais	(D'Mello et al., 2008)
Autorrelatos	(Pour et al., 2010)

O estado pedagógico do aprendiz, no trabalho de Hernández et al. (2008) é modelado como uma rede *bayesiana* dinâmica que representa as relações entre conteúdos, subtemas e conceitos básicos relacionados ao experimento. Os autores solicitaram aos aprendizes que informassem o seu estado pedagógico (melhor, mesmo, pior) após cada ação tutorial. Do ponto de vista dos aprendizes as intervenções tutoriais foram positivas, ou sejam, ajudaram a melhorar seus estados pedagógicos e afetivos.

A Figura 3.3 apresenta quais são as informações usadas para inferir o estado afetivo do aprendiz (**QP03**). Pode-se verificar que a expressão facial, os traços de personalidade e situação tutorial correspondem a 36,4% (quatro artigos cada um). Na sequência tem-se o estado do conhecimento com 27,3% (três artigos), os sinais fisiológicos e a fala com 18,2% (dois artigos), texto, movimento e postura corporal, autorrelato e uso de dispositivo físico 9,1% (um artigo cada um).

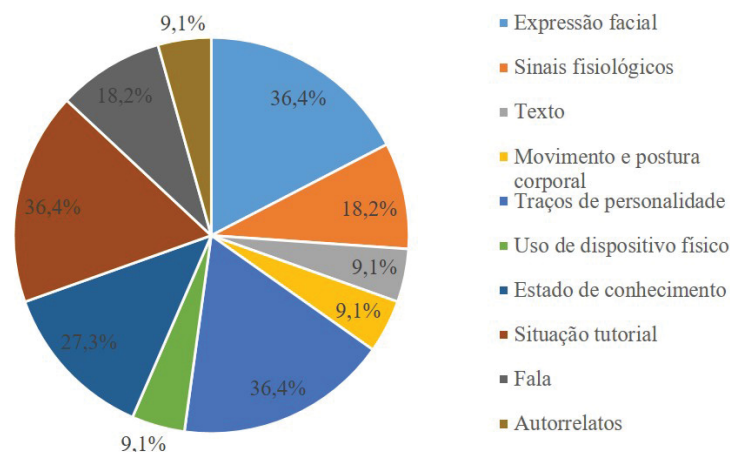


Figura 3.3: Resultado questão QP03 - "Quais são as informações usadas para inferir o estado afetivo do aprendiz?".

A Tabela 3.7 apresenta a relação das informações que ativam as intervenções tutoriais e a quais trabalhos estão relacionados.

Tabela 3.7: Informações para inferir o estado afetivo x trabalhos.

<i>QP03</i>	<i>Referências</i>
Expressão facial	(Cooper et al., 2011); (D'Mello et al., 2008); (Pour et al., 2010); (Tiam-Lee e Sumi, 2018)
Sinais fisiológicos	(Cooper et al., 2011); (Pour et al., 2010)
Texto	(Chao et al., 2012)
Movimento e postura corporal	(Cooper et al., 2011)
Traços de personalidade	(Hernández et al., 2006); (Hernández et al., 2007); (Hernández et al., 2008); (Hernández et al., 2009)
Uso de dispositivo físico	(Cooper et al., 2011)
Estado de conhecimento	(Hernández et al., 2006); (Hernández et al., 2007); (Hernández et al., 2008)
Situação tutorial	(Hernández et al., 2006); (Hernández et al., 2007); (Hernández et al., 2008); (Hernández et al., 2009)
Fala	(Forbes-Riley e Litman, 2011); (Grawemeyer et al., 2017)
Autorrelatos	(Pour et al., 2010)

Outra informação observada é que 63,8% dos trabalhos utiliza mais de uma informação, ou modalidade, para inferir o estado afetivo. Por exemplo, o trabalho de Cooper et al. (2011) faz a inferência do aprendiz durante a resolução de problemas por meio da: condutividade da pele; mudanças de movimento e postura; quantidade de pressão enquanto usa o mouse; e expressão facial. Pour et al. (2010) combina expressão facial, autorrelato, sinais fisiológicos como eletrocardiograma (ECG;), eletromiograma (EMG) e galvânica da pele (GSR - *Galvanic Skin Response*).

Para Picard (1997), a combinação de diversas modalidades pode melhorar a inferência dos estados afetivos. Ainda que as formas utilizadas para realizar a inferência sejam diferentes, elas podem ser vistas com complementares (Paiva, 2000).

Ao responder a questão **QP03**, foi possível identificar quais emoções são inferidas dos aprendizes. Observa-se que as emoções secundárias 75,5% são as mais inferidas pelos ambientes de aprendizagem, como confusão, frustração e admiração por exemplo. Essas emoções são frequentemente experimentadas durante o processo de interação com os ambientes de aprendizagem (Craig et al., 2004; Pour et al., 2010).

Nos trabalhos apresentados por (Hernández et al., 2006, 2007, 2008, 2009) são utilizadas seis emoções do modelo OCC, alegria-angústia, orgulho-vergonha e admiração-reprovação, cada emoção é um complemento da outra e cada par como uma dimensão (uma variável). Para Hernández et al. (2006), a emoção alegria-angústia é a emoção do aprendiz em relação à atividade, já a emoção orgulho-vergonha é a emoção do aprendiz em relação a si mesmo, e a emoção admiração-reprovação é a emoção do aprendiz em relação ao tutor.

Das sete emoções primárias definidas por Ekman (1992), cinco (alegria, tristeza, medo, surpresa e raiva) são detectadas por sete trabalhos (20,8%). Os trabalhos de Chao et al. (2012) e Pour et al. (2010) consideram ainda o neutro como uma emoção (3,8%). Das emoções primárias a alegria foi a que obteve a maior representação (45,5%) em relação ao total de emoções inferidas. A Figura 3.4 apresenta as emoções e a indicação da quantidade de cada uma delas.

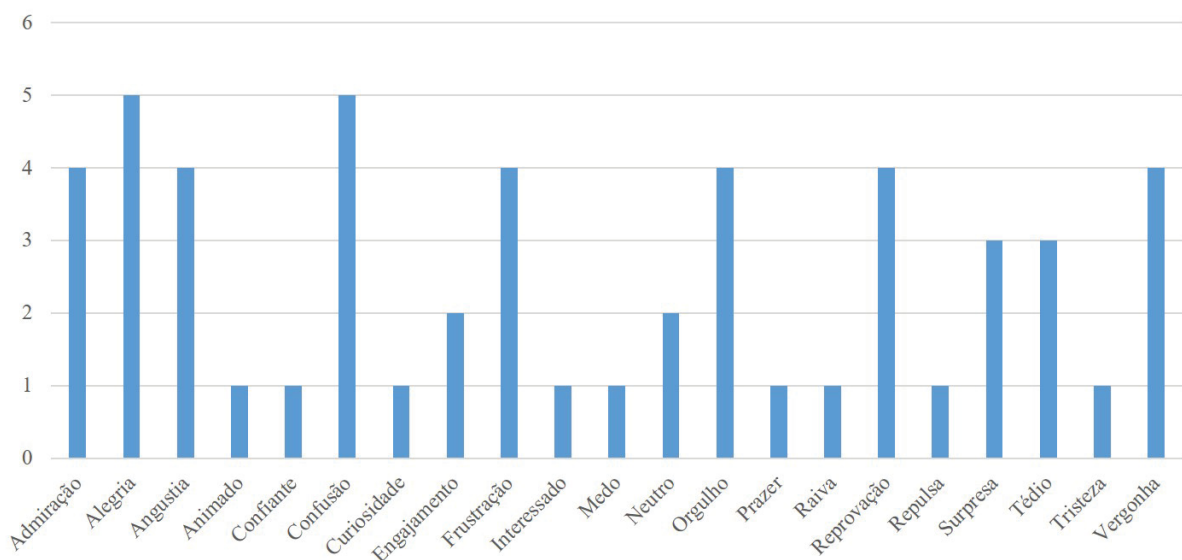


Figura 3.4: Emoções inferidas dos aprendizes.

As Tabelas 3.8 e 3.9 apresentam a relação das emoções primárias e secundárias e a quais trabalhos estão relacionados.

Tabela 3.8: Emoções primárias x trabalhos.

QP04	Referências
Alegria	(Chao et al., 2012); (Hernández et al., 2006); (Hernández et al., 2007); (Hernández et al., 2008); (Hernández et al., 2009)
Medo	(Chao et al., 2012)
Raiva	
Surpresa	
Tristeza	(Chao et al., 2012); (Grawemeyer et al., 2017); (Pour et al., 2010)

Tabela 3.9: Emoções secundárias x trabalhos.

QP04	Referências
Admiração	(Hernández et al., 2006); (Hernández et al., 2007); (Hernández et al., 2008); (Hernández et al., 2009)
Angustia	
Orgulho	
Reprovação	
Vergonha	(Cooper et al., 2011)
Animado	
Confiante	
Interessado	(Pour et al., 2010)
Curiosidade	
Prazer	(D’Mello et al., 2008); (Forbes-Riley e Litman, 2011); (Grawemeyer et al., 2017); (Pour et al., 2010); (Tiam-Lee e Sumi, 2018)
Confusão	
Engajamento	(Grawemeyer et al., 2017); (Pour et al., 2010)
Frustração	(Cooper et al., 2011); (D’Mello et al., 2008); (Grawemeyer et al., 2017); (Pour et al., 2010)
Repulsa	(Chao et al., 2012)
Tédio	(D’Mello et al., 2008); (Grawemeyer et al., 2017); (Pour et al., 2010)

A questão **QP04** visa verificar quais são as técnicas e ferramentas computacionais utilizadas para a inferência dos estados afetivos dos aprendizes. Verifica-se que as técnicas e ferramentas utilizadas são as mais variadas: *webcam*, sensores fisiológicos, questionários, agente animados, métodos de aprendizado de máquina e algoritmos classificadores. No trabalho de Cooper et al. (2011), são utilizados sensores como, pulseira de condutância da pele, mouse sensível à pressão, almofadas no assento e na parte superior das costas de cadeiras e *webcam* para detectar pontos faciais. Chao et al. (2012) combina dois métodos de reconhecimento, *Support Vector Machines* (SVM) e *Semantic Clues Emotion Voting Algorithm* (SeCeVa), para reconhecer o estado de emoção do texto inserido pelo aprendiz. Forbes-Riley e Litman (2011) realiza a inferência do estado afetivo por meio de um modelo que aplica uma combinação de aprendizado de máquina com heurísticas. Nesse modelo são empregados o uso de recursos acústicos-prosódicos e lexicais extraídos do sinal de fala, bem como recursos de diálogo. Grawemeyer et al. (2017), realiza a inferência do estado afetivo pela fala com base em uma combinação de fala (palavras-chave e recursos prosódicos) e interação. Hernández et al. (2006) aplica o modelo afetivo do aprendiz baseado no modelo cognitivo de emoções OCC. Em D’Mello et al. (2008), Pour et al. (2010), (Cooper et al. (2011) e Tiam-Lee e Sumi (2018)) foram utilizadas *webcams* para a captura da expressão facial do aprendiz para a inferência do estado afetivo.

A questão **QP05** identifica se o ambiente virtual de aprendizagem identifica ocorrência de erros do aprendiz. Todos os trabalhos selecionados realizam a identificação de erro do aprendiz. No trabalho de Tiam-Lee e Sumi (2018), a identificação de erro é verificada por meio do resultado do processo de compilação. No trabalho de Chao et al. (2012), a resposta do aprendiz é utilizada para verificar a ocorrência de erro.

Com relação às principais contribuições dos trabalhos (**QP06**), o que todos almejam é poder proporcionar aos aprendizes um ambiente favorável ao processo de ensino e aprendizagem. Cooper et al. (2011) apresenta a integração de uma variedade de sensores com dados de eventos do

aplicativo, de modo que o tutor possa executar ações com base no estado afetivo do aprendiz. Em D'Mello et al. (2008) um agente pedagógico sintetiza respostas afetivas por meio de expressões faciais animadas e fala modulada. Chao et al. (2012) apresentou um sistema que reconhece os estados afetivos dos aprendizes durante seus processos de aprendizagem e apresenta *feedback*. Um sistema de diálogo falado todo automatizado apresenta recursos acústico-prosódicos que representam o conhecimento do tom, energia, duração e pausa (Forbes-Riley e Litman, 2011). Os *feedback* são apresentados quando o aprendiz responde corretamente à atividade, mas o estado afetivo inferido é confusão. Da mesma forma, um *feedback* será apresentado quando a resposta estiver errada e estado afetivo confuso.

A Tabela 3.10 apresenta os resultados obtidos por meio do mapeamento sistemático proposto, conforme as questões de pesquisa definidas anteriormente de modo sumarizado.

Tabela 3.10: Intervenções realizadas a partir do estado afetivo.

Referência	QP01	QP02	QP03	QP04	QP05	QP06
(Chao et al., 2012)	<i>Feedback</i>	Resposta do aprendiz	Texto. Emoções identificadas: Raiva, medo, repulsa, surpresa, alegria, tristeza, neutra.	Algoritmo de Votação de Pistas Semânticas (SeCeVa) e Máquinas de Vetores de Suporte (SVM).	Sim	O sistema identificou melhora o interesse em aprender, reconhecendo os estados emocionais dos aprendizes durante seus processos de aprendizagem e dando <i>Feedback</i> adequado.
(Cooper et al., 2011)	Dica	Resposta do aprendiz e estado afetivo.	Conductividade da pele; mudanças de movimento e postura; pressão no mouse e expressão facial. Emoções identificadas: Confiante, interessado, animado ou frustrado.	Inferência do estado afetivo: pulso; mouse sensível à pressão; almofadas sensíveis à pressão colocadas na parte superior das costas e no assento de cadeiras; e <i>webcam</i> para detectar pontos faciais.	Sim	Integração de uma variedade de sensores com dados de eventos do aplicativo, de modo que o tutor possa executar ações e apresentar dicas com base no estado emocional dos aprendizes durante a resolução de problemas no ambiente de tutoria.
(D'Mello et al., 2008)	<i>Feedback e dica</i>	Sinais de conversação, linguagem corpórea e características faciais.	Expressão facial. Emoções identificadas: Tédio, frustração e confusão.	Métodos de aprendizado supervisionado (classificadores foram treinados a partir de dados da observação registrada por "juízes" enquanto aprendizes utilizam o AutoTutor). Teoria da atribuição; Teoria do desequilíbrio cognitivo. Regras de produção.	Sim	Apresenta um agente pedagógico, denominado AutoTutor que além de apresentar dicas e <i>feedback</i> , sintetiza respostas afetivas por meio de expressões faciais animadas e fala modulada.
(Forbes-Riley e Litman, 2011)	<i>Feedback</i>	Resultado do exercício.	Fala; Emoção identificada: confusão.	Detecta o estado afetivo por meio de um modelo que combina uma abordagem de aprendizado de máquina com heurísticas de frase. O modelo utiliza recursos acústicos-prosódicos e lexicais extraídos do sinal de fala, bem como recursos de diálogo.	Sim	Apresenta um sistema de diálogo falado automatizado que fornece respostas dinâmicas aos estados afetivos do aprendiz detectados automaticamente. Os resultados do experimento mostram que o sistema melhorou o desempenho geral. Uma análise detalhada de erros do sistema que revela desafios para a detecção e adaptação em tempo real.

(continua)

Tabela 3.10 (continuação da página anterior.)

Referência	QP01	QP02	QP03	QP04	QP05	QP06
(Grawemeyer et al., 2017)	<i>Feedback</i>	Interação com o ambiente (resposta).	Fala; Emoções identificadas: Engajamento, surpresa, frustração, tédio e confusão.	Cálcula o estado afetivo com base em uma combinação de fala (palavras-chave e recursos prosódicos (PTDC)) e interação.	Sim	Desenvolvimento de um ambiente de aprendizagem adaptável que fornece <i>feedback</i> de acordo com os estados afetivos dos aprendizes.
(Hernández et al., 2006)	Sete ações pedagógicas: exercícios com diferentes níveis; lição sobre um conceito (básico, tópico ou sub-tópico).	Ação do aprendiz no ambiente (estado pedagógico e afetivo).	Traços de personalidade do aprendiz; Estado do conhecimento; Objetivos; e Situação tutorial. Emoções identificadas: Alegria, angústia, orgulho, vergonha, admiração e reprovação.	Questionário baseados no modelo <i>Five-Factor</i> para definir os traços de personalidade; Modelo afetivo do aprendiz baseado no modelo cognitivo de emoções OCC e rede bayesiana dinâmica; Para selecionar a intervenção tutorial usou rede de decisão dinâmica.	Sim	Estabelecer uma ação tutorial considerando o estado afetivo e pedagógico do aprendiz.
(Hernández et al., 2007)	Dica (automática ou quando solicitado pelo aprendiz).	Ação do aprendiz no ambiente (estado pedagógico e afetivo no Prime Climb - jogo educativo para aprender fatoração de números).	Traços de personalidade do aprendiz; Estado do conhecimento; e Situação do tutorial. Emoções identificadas: Alegria, angústia, orgulho, vergonha, admiração e reprovação.	Um agente animado (personagem Merlin do Microsoft Agent) oferece dicas aos aprendizes. Modelo afetivo baseado no modelo OCC e <i>Five-Factor</i> .	Sim	Apresentar um modelo afetivo de decisão-teoria que seleciona uma ação tutorial considerando o estado afetivo e pedagógico do aprendiz.
(Hernández et al., 2008)	Explicações de tópicos do conteúdo relacionado ao experimento.	Ação do aprendiz no ambiente (seu estado pedagógico e afetivo em um experimento sobre robótica).	Estado de conhecimento do aprendiz, a situação tutorial e os traços de personalidade. Emoções identificadas: Alegria, angústia, orgulho, vergonha, admiração e reprovação.	Modelo cognitivo OCC (emoções). Rede bayesiana dinâmica (modelo tutor). Traços de personalidade (Modelo <i>Five-Factor</i>).	Sim	Desenvolvimento de um modelo de tutor afetivo de decisão-teoria, que seleciona uma ação tutorial, baseada no estado afetivo e pedagógico do aprendiz; e o refinamento deste modelo baseado nas opiniões de professores experientes no domínio.
(Hernández et al., 2009)	Explicação sobre um tópico, sub-tópico ou tema.	Ação do aprendiz no ambiente (seu estado pedagógico e afetivo).	Situação tutorial e traços de personalidade. Emoções identificadas: Alegria, angústia, orgulho, vergonha, admiração e reprovação.	Um agente animado (personagem Robbie do Microsoft Agent). Modelo cognitivo OCC (emoções). Rede bayesiana dinâmica (modelo tutor). Traços de personalidade (Modelo <i>Five-Factor</i>).	Sim	Modelo tutor afetivo de decisão-teórica, que seleciona uma ação tutorial baseada no estado afetivo e pedagógico do aprendiz que considerou as opiniões de professores experientes.

Tabela 3.10 (continuação da página anterior.)

Referência	QP01	QP02	QP03	QP04	QP05	QP06
(Pour et al., 2010)	<i>Feedback</i>	Sinais fisiológicos (Eletrocardiograma - ECG; Eletromiograma - EMG; e Galvânica da pele - GSR) e Autorrelatos.	Expressão facial e sinais fisiológicos. Emoções identificadas: Confusão, frustração, tédio, engajamento, curiosidade, surpresa, prazer e neutro.	Sistema BIOPAC MP150 com o software AcqKnowledge. ECG - dois eletrodos pulsos e tornozelo. EMG - um canal a partir do músculo corrugador. GSR - índice e do dedo médio.	Sim	Indicação da relação entre <i>feedback</i> do tutor e estados afetivos autorrelatados, bem como entre <i>feedback</i> e fisiologia.
(Tiam-Lee e Sumi, 2018)	<i>Feedback</i>	Quando detectado o estado afetivo confusão e o resultado da resolução de exercícios (compilações).	Expressão facial. Emoções identificadas: Confusão.	Webcam e modelos ocultos de Markov - HMM (<i>Hidden Markov Models</i>).	Sim	Bases para o desenvolvimento de tutores de programação inteligente para gerar conteúdo de aprendizagem personalizado com base no estado do aprendiz. (conclusão)

3.3 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo foi apresentado o mapeamento sistemático que permitiu realizar um levantamento dos trabalhos mais relevantes na literatura em relação a proposta desta tese. A partir da leitura dos trabalhos, foi possível obter as informações necessárias para responder as questões de pesquisa e identificar a metodologia utilizado por estes, assim como auxiliou na definição da metodologia do presente trabalho.

Embora o mapeamento sistemático retornou uma grande quantidade de artigos, os critérios de inclusão e exclusão auxiliaram no refinamento destes, sendo que após, os 1.019 foram analisados, e destes, os mais relevantes foram lidos na íntegra. Dos artigos lidos na íntegra, 11 foram selecionados para serem utilizados nas comparações qualitativas em relação ao trabalho proposto. Estas comparações são apresentados com detalhes na Seção 5.5.

4 MODELO PROPOSTO

Este capítulo apresenta o modelo de intervenção tutorial MAFint, desenvolvido durante este projeto de pesquisa. Inicialmente é apresentada a metodologia utilizada em resposta às questões de pesquisa. Na sequência, a estrutura geral do modelo, indicando cada uma das partes que o compõem. Em seguida, são apresentados e descritos cada atividade do modelo, a identificação e classificação do erro e a inferência do estado afetivo. Por fim, são apresentadas as intervenções tutoriais.

4.1 METODOLOGIAS UTILIZADAS EM RESPOSTAS AS QUESTÕES DE PESQUISA

Em relação a **QP01** - Identificar quais são os tipos de intervenções tutoriais apresentadas aos aprendizes, a presente tese apresenta uma classificação de intervenções tutoriais que foi desenvolvida para o modelo proposto. Para isso foi realizado um estudo sobre os tipos de intervenções tutoriais aplicados nos ambientes virtuais de aprendizagem. A partir dos trabalhos de McKendree (1990), Fleming e Levi (1993), Hume et al. (1996), Hannafin et al. (1999), McLoughlin (2004), Economides (2005) e Narciss (2013), foi desenvolvida uma classificação de tipos e subtipos de intervenções. Esta classificação apresenta um conjunto de intervenções tutoriais que, de acordo com conteúdo a ser trabalhado o especialista, define quais intervenções utilizar.

A **QP02** - Verificar em que momento a intervenção tutorial é exibida ao aprendiz, o presente trabalho faz isso por meio da identificação de ocorrência de erro do aprendiz no momento da resolução de um exercício. O erro identificado é classificado por meio de um classificador de erros matemáticos, assim, é possível saber o tipo de erro cometido, e apresentar uma intervenção tutorial em relação ao erro. Desta forma, o objetivo é auxiliar o aprendiz a identificar o erro, possibilitando um momento de aprendizagem.

Em relação a **QP03** - Identificar qual a informação é utilizada para inferir o estado afetivo do aprendiz, o presente trabalho utiliza o reconhecimento da expressão facial para inferir as emoções dos aprendizes com o uso de uma *webcam*. Por meio da inferência é possível identificar qual o estado afetivo do aprendiz diante das intervenções tutoriais apresentadas pelo modelo, e a inferência permite ainda monitorar a mudança de estado afetivo do aprendiz a medida em que ele acerta ou erra os exercícios.

Sobre a questão de pesquisa **QP04** - Identificar as técnicas e ferramentas computacionais utilizadas para a inferência dos estados afetivos, o presente trabalho fez uso da identificação da expressão facial, utilizando uma *webcam* para captura da imagem da face do aprendiz. O reconhecimento da expressão facial é realizado pela API do Microsoft Azure Cognitive Services Emotion. O modelo de inferência aplicado utiliza a abordagem de representação das emoções em quadrantes (Gottardo e Pimentel, 2018), que permite identificar os estados afetivos necessários para o presente modelo.

Em relação a **QP05** - Verificar se o ambiente virtual de aprendizagem identifica ocorrência de erros do aprendiz, o presente trabalho faz a identificação deste por meio do resultado do exercício no ambiente virtual de aprendizagem.

Com relação as principais contribuições dos trabalhos para **QP06**, o presente trabalho apresenta um modelo de intervenções tutoriais que apresenta intervenções a partir da identificação e classificação do tipo de erro cometido pelo aprendiz, ao mesmo tempo que infere o estado afetivo com o objetivo de manter o aprendiz motivado e engajado.

Com base nas metodologias citadas, o MAFint foi concebido, sendo seu funcionamento detalhado na sequência.

4.2 MAFINT

O modelo desenvolvido apresenta três atividades principais: a identificação do tipo de erro; a inferência do estado afetivo e a classificação de intervenção tutorial. A Figura 4.1 é uma representação do modelo de intervenção tutorial que indica intervenções tutoriais a partir da identificação do tipo de erro do aprendiz.

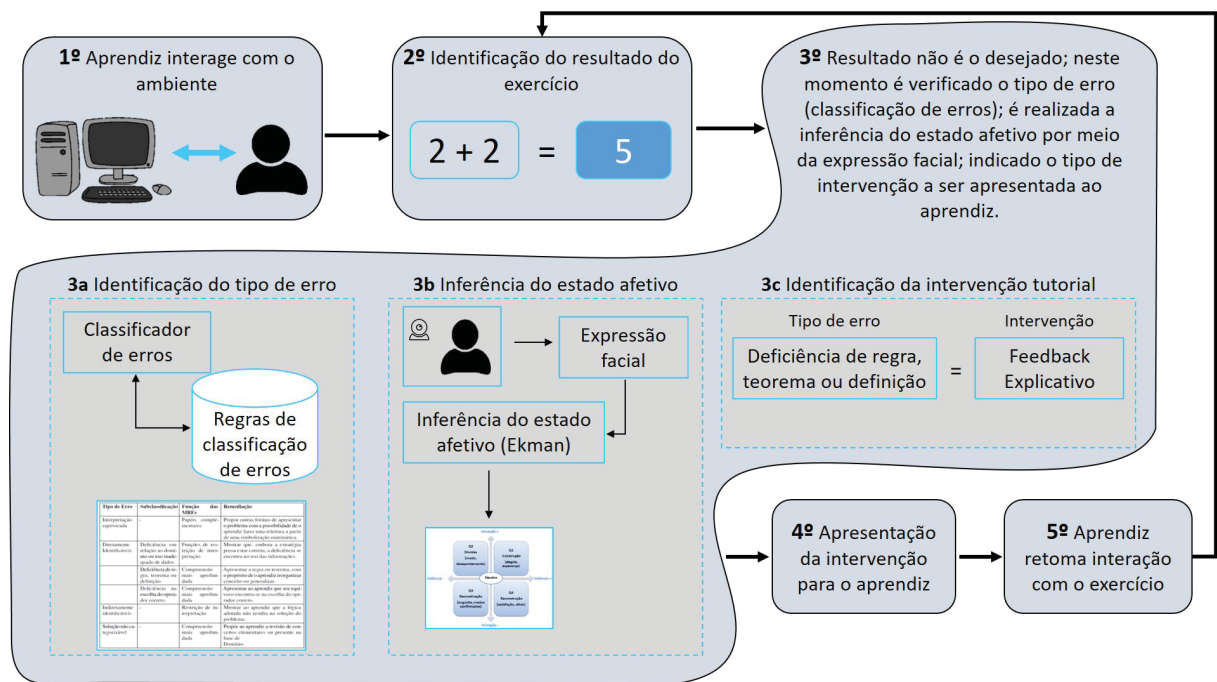


Figura 4.1: Modelo MAFint.

No momento em que o aprendiz responder o exercício (1º) o modelo identifica se a resposta apresentada é a esperada ou não (2º). Se a resposta estiver correta o ambiente carrega um novo exercício. Caso contrário, o ambiente realiza uma análise para identificar qual é o tipo de erro cometido pelo aprendiz (3a), e simultaneamente captura a imagem facial do aprendiz (3b).

Imediatamente após detectar o tipo de erro (3a) e inferir o estado afetivo (3b), uma intervenção tutorial é classificada (3c) e em seguida exibida para o aprendiz (4º) em forma de texto em linguagem natural, com o objetivo de auxiliá-lo na resolução do exercício em questão. O aprendiz após receber a intervenção tutorial, pode resolver o exercício novamente ou encerrar o uso do ambiente (5º). Se obtiver êxito o ambiente carrega um novo exercício, caso contrário retorna à terceira etapa.

4.2.1 Classificação dos Erros

Para a atividade de identificação do tipo de erro (3a) foi utilizada a classificação de erros matemáticos, desenvolvida por (Leite et al., 2012). Nesta etapa os possíveis erros presentes em determinados conteúdos precisam ser previamente identificados, com ajuda de especialistas, para, na sequência, serem organizados em uma base de regras. A partir dessas regras, é realizada a classificação do tipo de erro cometido pelo aprendiz.

Os tipos e subtipos de erros contidos na classificação de Leite et al. (2012) são listados a seguir.

- Interpretação equivocada;
- Diretamente identificáveis;
 - Deficiência em relação ao domínio ou uso inadequado de dados;
 - Deficiência de regra, teorema ou definição;
 - Deficiência na escolha do operador correto;
- Indiretamente identificáveis;
- Solução não categorizável.

A classificação completa com a descrição de cada um dos tipos e subtipos está descrita na Tabela 2.4, que foi apresentada na Seção 2.2.

4.2.2 Inferência do Estado Afetivo

A inferência do estado afetivo (3b) é realizada com base na expressão facial do aprendiz capturada por uma *webcam* de acordo com as emoções básicas do modelo de Ekman (1992).

O modelo de inferência aplicado no MAFint utiliza a abordagem de representação das emoções em quadrantes desenvolvido por Gottardo e Pimentel (2018). Os quadrantes são formados pelas dimensões valência (eixo horizontal) e ativação (eixo vertical) que foram nomeados como Q1, Q2, Q3, Q4, além de um estado Neutro (QN – Quadrante Neutro). Cada quadrante possui um nome representativo, sendo Construção para o Q1, Dúvidas para o Q2, Desmotivação para o Q3 e Reconstrução para o Q4, além das principais emoções contidas no mesmo, conforme apresenta a Figura 4.2.

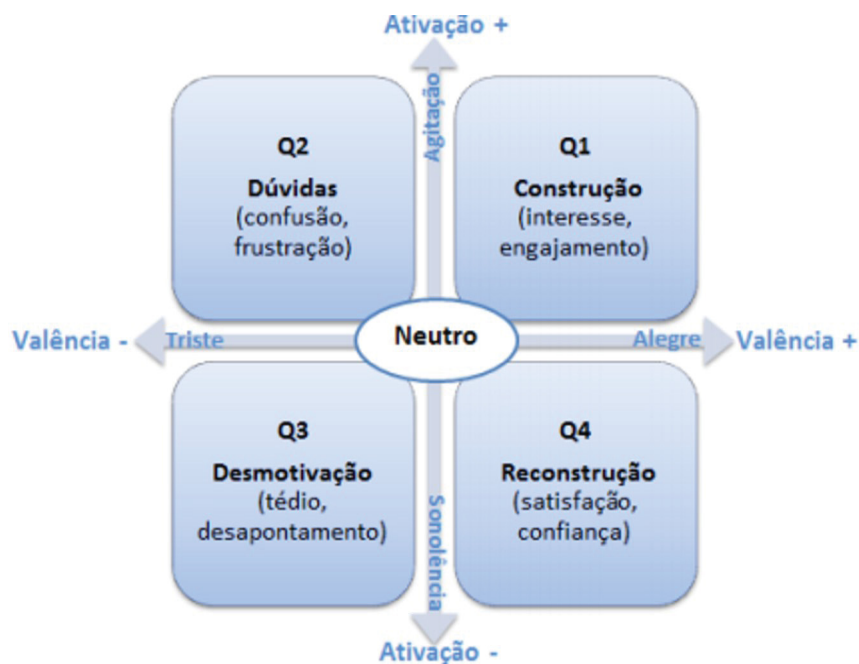


Figura 4.2: Modelo de representação das emoções em quadrantes.
Fonte: (Gottardo e Pimentel, 2018).

A inferência das emoções físicas retorna *scores* para cada uma das emoções e depois realiza o mapeamento dos *scores* das emoções para os respectivos quadrantes. No quadrante Q1 são as emoções alegria e surpresa, no quadrante Q2 medo, desgosto, raiva, surpresa e desprezo, no quadrante Q3 tristeza, no quadrante Q4 alegria, e no quadrante QN neutro.

Os quadrantes Q1 e Q2 com ativação positiva formam a classe chamada agitação, e os quadrantes Q3 e Q4 com ativação negativa formam a classe chamada sonolência. Em relação à dimensão de valência, os quadrantes Q1 e Q4 formam a classe chamada positivo, enquanto os quadrantes Q2 e Q3 formam a classe chamada negativo. O quadrante QN nas duas dimensões permanece como uma classe chamada de neutro. Esses quadrantes agregam um conjunto de emoções que tem potencial de favorecer o processo de aprendizagem (Gottardo e Pimentel, 2018). O quadrante Q1 que é o de construção, com as dimensões de ativação e valência positiva, ou seja, de interesse, engajamento e motivação maior/positivo, pode criar uma condição para um melhor aprendizado.

De acordo com Gottardo e Pimentel (2018), a representação das emoções em quadrantes pode apresentar informações que possibilitem verificar a ocorrência de estados como ciclo vicioso ou engajamento/desengajamento. A partir dessa informação seria possível auxiliar em questões relacionadas a adequações e estratégias de intervenções.

4.2.3 Classificação das Intervenções Tutoriais

Inicialmente, para o desenvolvimento do modelo de intervenção tutorial proposto pelo presente trabalho, foi necessário realizar um estudo sobre os tipos de intervenções tutoriais aplicados nos ambientes virtuais de aprendizagem, que foi apresentado na Seção 2.4.

A partir dos trabalhos de McKendree (1990), Fleming e Levi (1993), Hume et al. (1996), Hannafin et al. (1999), McLoughlin (2004), Economides (2005) e Narciss (2013), foi realizada uma classificação de tipos e subtipos de intervenções tutoriais. A Tabela 4.1 apresenta os tipos, subtipos de intervenções e suas referências.

Tabela 4.1: Relação de tipos e subtipos de intervenções tutoriais x Referências.

Tipos	Subtipos	Referências
<i>Scaffolding</i>	Conceitual, Processual, Estratégico e Metacognitivo.	(Hannafin et al., 1999); (McLoughlin, 2004)
<i>Feedback</i> baseado na função	Confirmação, Corretivo, Explicativo, Diagnóstico e Elaborativo.	(Fleming e Levi, 1993)
<i>Feedback</i> baseado no conteúdo	Conhecimento da resposta	(McKendree, 1990); (Economides, 2005); (Narciss, 2013)
	Resposta até que seja correta, Tópico contingente, Resposta contingente, Bug relacionado, Isolamento de atributos	(Economides, 2005)
	Conhecimento do desempenho, Conhecimento da resposta correta, Elaborado	(Narciss, 2013)
	de violação de condição, de meta ou de objetivo e Combinado.	(McKendree, 1990)
Dica	Informação transmitida, Apontar para e Linha direta de raciocínio.	(Hume et al., 1996)

O primeiro tipo é o *Scaffolding*, esse termo é utilizado como uma metáfora no processo de aprendizagem, por referir-se ao apoio temporário que é oferecido ao aprendiz para o desenvolvimento de uma atividade. Em seguida, o tipo *Feedback*, que são todas as informações pós-resposta que informam os aprendizes sobre seu estado real de aprendizado ou desempenho, além de propiciar ajuda ao aprendiz de modo que ele tenha condições de solucionar uma tarefa e com isso progredir no aprendizado. E por fim o tipo Dica, que busca lembrar os aprendizes das informações que se presume serem de seu conhecimento, ou seja, estimular a recordação de fatos que os auxiliem a responder a uma pergunta.

Essa classificação foi elaborada com base em uma busca da literatura em que foram identificados os vários tipos e subtipos de intervenções tutoriais, inclusive com a indicação de quando usar e objetivos, conforme apresenta a Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Classificação dos tipos e subtipos de intervenções tutoriais, com a indicação de quando usar e objetivo.

Tipos	Subtipos	Quando usar	Objetivo
<i>Scaffolding</i>	Conceitual	Para orientar o aprendiz a focar em pontos centrais e conceitos que podem apresentar várias interpretações.	Guiar o aprendiz sobre o que considerar na aprendizagem quando a tarefa do problema é definida e contextualizada.
	Processual	Para auxiliar o aprendiz em como retornar a um determinado local ou como utilizar um determinado recurso oferecido pelo sistema.	Guiar o aprendiz no uso de ferramentas e recursos disponíveis, orientando-o sobre as funções do sistema.
	Estratégico	Quando deseja-se possibilitar ao aprendiz participar do planejamento e tomada de decisões.	Guiar o aprendiz de modo a analisar formas alternativas de resolver tarefas e problemas na aprendizagem.
	Metacognitivo	Para recomendar ao aprendiz que realize planejamento antecipado, avalie o seu desenvolvimento e progresso, além de determinar as necessidades.	Guiar o aprendiz sobre como pensar durante o aprendizado.
<i>Feedback baseado na função</i>	Confirmação	Para indicar se uma resposta está correta ou incorreta.	Indicar a precisão de uma resposta ao aprendiz.
	Corretivo	Para complementar a resposta incorreta apresentado pelo <i>Feedback</i> de confirmação	Auxiliar o aprendiz a identificar o raciocínio incorreto.
	Explicativo	Para apresentar informações relevantes que ajude a identificar por que uma resposta está incorreta.	Explicar os motivos pelos quais a resposta está incorreta.
	Diagnóstico	Para evidenciar o erro e indicar uma solução.	Identificar equívocos comparando a resposta do aprendiz com erros comuns.
	Elaborativo	Para fornecer informações que possam complementar ou ampliar o conhecimento que está sendo avaliado.	Promover o significado a partir da criação de ligações entre o conteúdo novo e o conhecimento prévio do aprendiz.
<i>Feedback baseado no conteúdo</i>	Conhecimento da resposta	Para indicar se uma resposta está correta ou incorreta com o mínimo de informação.	Apresentar informações mínimas sobre a exatidão da resposta, ou da qualidade de sua resposta.
	Resposta até que seja correta	Para informar que a resposta ainda não está correta e que o aprendiz tente novamente.	Solicitar ao aprendiz para tentar novamente até que a resposta esteja correta.
	Tópico contingente	Quando deseja-se, ao verificar a resposta do aprendiz, elaborar um <i>feedback</i> geral do tópico.	Apresentar <i>feedback</i> do tópico como um todo a partir da resposta do aprendiz.
	Resposta contingente	Para explicar porque a resposta correta está correta e a resposta incorreta está incorreta.	Verificar a resposta do aprendiz, e apresentar explicações sobre ela.
	Bug relacionado	Para apresentar os erros comuns cometidos pelo aprendiz.	Verificar a resposta e apresentar quais são os erros comuns cometidos.

(continua)

Tabela 4.2 (continuação da página anterior.)

Tipos	Subtipos	Quando usar	Objetivo
Feedback baseado no conteúdo	Isolamento de atributos	Para apresentar as características principais de um conceito.	Verifica a resposta e identificar os atributos centrais do conceito de destino.
	Conhecimento do desempenho	O <i>feedback</i> pode ser o número de erros cometidos ou ainda a porcentagem de tarefas resolvidas corretamente.	Fornecer ao aprendiz informações após a conclusão de uma série de tarefas ou de uma tarefa complexa.
	Conhecimento da resposta correta	Para informar a resposta correta.	Informar a resposta correta ou uma solução como modelo para uma dada tarefa.
	Elaborado	Para fornecer informações adicionais (por exemplo, sugestões, dicas, explicações, questões de orientação).	Apresentar informações do “conhecimento do resultado” ou “conhecimento da resposta correta”.
	de violação de condição	Para orientar o aprendiz sobre as etapas que devem ser seguidas.	Indicar qual etapa deve ser seguida na sequência, ou ainda indicar um equívoco sobre a aplicação incorreta de uma regra.
	de meta ou de objetivo	Para auxiliar o aprendiz a encontrar a resposta correta.	Fornecer estímulo ou uma sugestão do caminho que precisa ser seguido para encontrar a solução correta.
	Combinado	Quando deseja-se combinar os tipos <i>Feedback</i> de violação de condição e <i>Feedback</i> de meta ou de objetivo.	Combinar os tipos <i>Feedback</i> de violação de condição e <i>Feedback</i> de meta ou de objetivos.
Dica	Informação transmitida	Quando deseja-se solicitar ao aprendiz que infira ou recorde de uma resposta, ou ainda da próxima etapa de uma solução.	Enunciados que transmitem informações explícitas ao aprendiz na forma de um fato, uma explicação ou um resumo.
	Apontar para	Apontar para a localização da informação em uma base de conhecimento, por exemplo, mas sem transmitir a informação.	Enunciados que fazem menção à informação que se pressupõe estar disponível para o aprendiz.
	Linha direta de raciocínio	Quando deseja-se fazer com que o aprendiz tenha que pensar sobre cada uma das etapas até chegar em uma solução.	Oferecer uma sucessão de perguntas, ou sugestões.

(conclusão)

A realização dessa etapa permitiu visualizar e organizar as intervenções tutoriais a partir de suas características em tipos e subtipos com a indicação do objetivo de cada intervenção tutorial, assim como quando de sua aplicação.

A apresentação dessa classificação tem como objetivo propiciar auxílio na escolha das intervenções tutoriais a serem aplicadas nos ambientes virtuais de aprendizagem. Deve-se observar que a definição do tipo e subtipo de intervenção tutorial a ser apresentada ao aprendiz precisa considerar o conteúdo e os objetivos instrucionais. A sugestão é que um professor, ou especialista do conteúdo, defina quais os tipos e subtipos de intervenções tutoriais serão apresentadas aos aprendizes. O responsável poderá utilizar todos os subtipos de intervenções, ou aqueles que forem considerados mais relevantes de acordo com a classificação (Tabela 4.2).

4.2.4 Uso do Modelo MAFint

O modelo MAFint ao ser aplicado para um objeto de aprendizagem, um jogo ou software educacional precisa inicialmente observar algumas questões. Este modelo foi implementado em um jogo de frações desenvolvido para este trabalho de pesquisa, conforme é descrito na Seção 5.2. A Figura 4.3 apresenta a indicação dos principais itens observados para utilização do modelo MAFint para uma aplicação.



Figura 4.3: Representação dos principais itens para aplicação do Modelo MAFint.

A primeira etapa a ser considerada é identificar os erros previamente e na sequência classificá-los em tipos e subtipos. A classificação deve ser realizada de acordo com o classificador de erros de (Leite et al., 2012). Lembrando que é um classificador de erros matemáticos, dessa forma, o modelo será implementado para conteúdos da área de matemática.

Para a etapa de classificação de erros é necessário identificar os possíveis erros que podem estar presentes em um determinado conteúdo, para isso é recomendável o auxílio de um especialista. Posteriormente esses erros podem ser estruturados em uma base de regras, tendo como entrada o erro identificado previamente. A Tabela 4.3 apresenta um exemplo real de respostas erradas dos aprendizes, a identificação e classificação dos erros de acordo com o classificador de (Leite et al., 2012).

Tabela 4.3: Exemplo de identificação e classificação de erros.

Operação	Respostas	Tipo de Erro	Subtipo de erro
$\frac{1}{6} + \frac{2}{3} =$	$\frac{3}{9}$	Diretamente identificável	Deficiência de regra, teorema ou definição
	$\frac{3}{12}$	Indiretamente identificável	-
	$\frac{3}{15}$	Solução não categorizável	-

No exemplo de operação apresentado na Tabela 4.3 são indicados os tipos de erros Diretamente identificável, com o subtipo Deficiência de regra, teorema ou definição, Indiretamente identificável e Solução não categorizável. Esses erros foram identificados e classificados por um especialista a partir dos erros cometidos pelos aprendizes no pré-teste, considerando a classificação de erros matemáticos de (Leite et al., 2012). Para a resposta incorreta $3/9$ foi verificado que o aprendiz somou os numeradores ($1+2$) e os denominadores também ($6+3$), sendo classificado pelo especialista como sendo do tipo Diretamente identificável e subtipo Deficiência de regra, teorema ou definição.

Dessa forma, o especialista avaliou todas as respostas erradas dos aprendizes no pré-teste. A partir dos erros identificados, foram implementados os seguintes tipos e subtipos de erros de Leite et al. (2012): Diretamente identificáveis, com os subtipos Deficiência de regra, teorema e definição e Deficiência na escolha do operador correto; Indiretamente identificáveis; Solução não categorizável.

Para a inferência do estado afetivo do aprendiz, que é realizada por meio da expressão facial, é necessário definir um software para realizar tal tarefa, além de uma *webcam*. Dessa forma

será realizada a identificação da face do aprendiz e a inferência das oito emoções. Em seguida o software (EmotionAPI) retornar os *scores* das emoções alegria, surpresa, medo, desgosto, raiva, desprezo, tristeza e neutro, conforme exemplo apresentado pela Figura 4.4. Na sequência é realizado o mapeamento dos *scores* para os respectivos quadrantes (Tabela 4.5), de acordo com a abordagem de representação das emoções em quadrantes de (Gottardo e Pimentel, 2018). Neste exemplo, pode-se observar que a emoção com maior *score* é alegria (0,367) e o quadrante com maior *score* é o Q4 (0,698), ou seja, o quadrante mapeado o Q4 também chamado de reconstrução.

Tabela 4.4: Exemplo dos *scores* de cada emoção de um aprendiz.

Alegria	Surpresa	Raiva	Desprezo	Desgosto	Medo	Tristeza	Neutro
0,367	0,331	0,002	0,001	0,001	0,003	0,003	0,293

Tabela 4.5: Mapeamento dos *scores* de cada emoção para os respectivos quadrantes.

Q1	Q2	Q3	Q4	QN
0,000	0,007	0,003	0,698	0,293

Para a aplicação da classificação de intervenção tutorial inicialmente deve-se analisar quais características de cada uma das intervenções tutoriais apresentadas na Tabela 4.2 são mais adequada para os erros identificados e classificados. Essa indicação pode ser feita por meio de experimentos e análise de seus resultados, ou ainda, o conteúdo pode ser avaliado por um especialista que poderá definir as intervenções tutoriais a serem aplicadas e apresentadas aos aprendizes.

Para o jogo de frações foram selecionados nove subtipos de intervenções tutoriais, dos 24 subtipos disponíveis na classificação (Tabela 4.2). A Tabela 4.6 apresenta seis subtipos de intervenções tutoriais que foram selecionadas para serem exibidas aos aprendizes quando uma resposta não está correta. A escolha das intervenções levou em consideração conteúdo, a forma como ele é apresentado e em função de adequação ao modelo do jogo.

Tabela 4.6: Exemplo de tipos e subtipos de intervenções.

Tipo	Subtipo
<i>Feedback</i>	Explicativo
	Diagnóstico
	de meta ou de objetivo
Dica	Informação transmitida
	Apontar para
	Linha direta de raciocínio

A Tabela 4.7 apresenta os outros três subtipos de intervenções tutoriais. Essas intervenções são mostradas aos aprendizes depois que todas as tentativas de responder o exercício acabar. O objetivo dessas intervenções é de não deixar o aprendiz sem uma resposta sobre o erro que ele cometeu.

Tabela 4.7: Exemplo de tipo e subtipos de intervenções tutoriais após acabar as tentativas de resposta.

Tipo	Subtipo
<i>Feedback</i>	Conhecimento da resposta correta
	Corretivo
	Resposta contingente

Depois de definido os tipos e subtipos de intervenções tutoriais, é necessário estabelecer regras para a escolha da intervenção que será apresentada aos aprendizes. A Tabela 4.8 apresenta um exemplo de uma operação de soma de frações, com a resposta incorreta, identificação do tipo e subtipo de erro, além do tipo, subtipo e texto da intervenção tutorial.

A Tabela 4.8 apresenta um exemplo de erro do jogo e a respectiva intervenção. É apresentada uma operação de soma de frações com denominadores iguais do nível 1 do jogo, com a indicação de um erro do aprendiz. O erro, resposta incorreta do aprendiz, foi identificado de acordo com o classificador de erros matemáticos de Leite et al. (2012). O tipo de erro identificado foi o Diretamente identificável, e o subtipo Deficiência de regra, teorema ou definição. A partir do tipo e subtipo de erro identificado e classificado, uma intervenção tutorial é classificada e exibida para o aprendiz. Para esse tipo e subtipo de erro a intervenção apresentada foi do tipo *Feedback*, subtipo Diagnóstico com o texto de intervenção que é exibido na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Exemplo de uma operação com tipo e subtipo de erro e de intervenção tutorial.

Operação	Resposta incorreta	Tipo de erro	Subtipo de erro	Tipo de intervenção	Subtipo de intervenção
$\frac{3}{8} + \frac{1}{8} =$	$\frac{4}{16}$	Diretamente identificável	Deficiência de regra, teorema ou definição	<i>Feedback</i>	Diagnóstico

Texto da intervenção: Resposta incorreta! O erro está no valor do denominador. Na soma de frações com denominadores iguais basta repetir o denominador no resultado.

A escolha do tipo de intervenção *Feedback*, subtipo Diagnóstico apresentado na Tabela 4.8 foi realizada de modo aleatório entre todos os subtipos de intervenções tutoriais que se enquadram nas regras definidas. A Tabela 4.9 apresenta os possíveis tipos, subtipo e textos de intervenções tutoriais que poderiam ser apresentados para a operação da 4.8.

Tabela 4.9: Exemplo de textos de intervenções tutoriais.

Tipo	Subtipo de intervenção	OP	N	DS	D	Texto da intervenção
Dica	Informação transmitida	+	A	I	A	Nas operações de soma com denominadores iguais deve-se somar um dos termos e repetir o outro.
	Linha direta de raciocínio	+	A	I	A	Os denominadores são iguais ou diferentes? Lembre-se que essa informação define como resolver a operação de soma.
Feedback	Diagnóstico	+	C	I	N	Resposta incorreta! O erro está no valor do denominador. Na soma de frações com denominadores iguais basta repetir o denominador no resultado.
	Explicativo	+	C	I	N	Resposta incorreta, pois o denominador da resposta selecionada não é o correto. Veja que é uma operação de soma e que os denominadores são iguais.

Toda vez que o aprendiz responder uma operação será realizada uma escolha aleatória entre todas as possíveis intervenções tutoriais, que estiverem de acordo com as regras estabelecidas. Neste exemplo as regras estão relacionadas ao conjunto de informações coletadas da própria operação. Na Tabela 4.9 a coluna OP identifica a operação da fração, a coluna N representa o numerador do resultado, a coluna DS os denominadores da operação e a coluna D indica o denominador do resultado. Quando o aprendiz responder a operação será verificado inicialmente o tipo de operação (OP); se o numerador (N) e o denominador (D) da resposta selecionada é igual ao da resposta correta, que pode estar correto (C), não correto (N) ou o valor não interfere (A); e se os denominadores (DS) são iguais (I) ou diferentes (D).

Na Tabela 4.7 foi apresentado os tipos e subtipos de intervenções que são exibidas aos aprendizes depois que todas as tentativas em responder o exercício acabarem. A Tabela 4.10 descreve as regras e os textos de intervenções apresentadas aos aprendizes. Essas intervenções também são escolhidas aleatoriamente observando as regras descritas acima.

Tabela 4.10: Exemplo de textos de intervenções tutoriais apresentadas após acabarem todas as tentativas de respostas.

Tipo	Subtipo de intervenção	OP	N	DS	D	Texto da intervenção
<i>Feedback</i>	Conhecimento da resposta correta	+	A	I	A	Resposta incorreta. A resposta correta é $\{ \}$. Pois nesta operação deve-se somar os numeradores e conservar o denominador. Veja um exemplo: $2/4 + 1/4 = 3/4$
	Corretivo	+	A	I	A	Sua resposta está incorreta. A resposta certa é $\{ \}$. Nas operações de soma com denominadores iguais deve-se somar os numeradores e manter o denominador.
	Resposta contingente	+	A	I	A	Sua resposta está errada. A resposta certa é $\{ \}$. Neste caso não foi aplicada corretamente a regra para soma de frações com denominadores iguais.

4.3 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo foi apresentado o modelo de intervenções tutoriais que a partir da identificação do erro cometido pelo aprendiz realiza a classificação do tipo de erro, a inferência do seu estado afetivo, assim como a apresentação de uma intervenção tutorial.

A partir da identificação prévia dos erros é realizado a classificação dos tipos e subtipos de erros de acordo com o classificador de erros matemáticos de Leite et al. (2012).

A inferência do estado afetivo é realizada com base na expressão facial do aprendiz capturada por uma webcam de acordo com as emoções básicas do modelo de Ekman (1992). Aplica a abordagem de representação das emoções em quadrantes desenvolvido por Gottardo e Pimentel (2018).

Foram definidos nove subtipos de intervenções tutoriais para serem apresentadas aos aprendizes, são eles: o tipo *Feedback* e os subtipos Explicativo, Diagnóstico, de meta ou de objetivo, Conhecimento da resposta correta, Corretivo e Resposta contingente; o tipo Dica com os subtipos Informação transmitida, Apontar para, Linha direta de raciocínio.

Uma das principais contribuições desse trabalho é a apresentação da classificação de intervenções tutoriais com seus tipos, subtipos, objetivos e indicação de quando utilizar (Tabela 4.2). O objetivo do modelo descrito é apresentar para os aprendizes intervenções tutoriais que os auxiliem na resolução dos exercícios, além de mantê-los motivados. Para avaliar o modelo foram realizados experimentos que são descritos no Capítulo 5.

5 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados inicialmente a metodologia e os materiais e métodos utilizados. Na sequência, são descritos e discutidos os experimentos e os resultados obtidos, assim como as ameaças à validade do experimento.

5.1 METODOLOGIA

Com a finalidade de verificar a viabilidade do modelo desenvolvido durante esta pesquisa foram realizados experimentos em ambientes reais de aprendizagem utilizando um jogo de frações matemáticas. Os experimentos avaliaram ainda a hipótese de que a apresentação de intervenções tutoriais que consideram o erro do aprendiz contribuem para a resolução de exercícios, de modo a melhorar o seu desempenho e propiciar um maior engajamento e motivação.

São três os experimentos: Piloto; Experimento 1 (E1) e Experimento 2 (E2). O experimento piloto teve o objetivo de testar o jogo e todo o arcabouço. Desta forma, foi possível analisar, revisar e aperfeiçoar os instrumentos e procedimentos de pesquisa. O próximo experimento (E1) teve o propósito de coletar dados durante a interação dos aprendizes com o jogo, como erros, estados afetivos e intervenções tutoriais, e assim, verificar quais intervenções mais ajudaram os aprendizes. E o último experimento (E2) foi aplicado para avaliar se houve melhoria no desempenho. Nesse experimento os aprendizes também interagiram com o jogo, mas divididos em dois grupos, Grupo de Controle (GC) e Grupo Experimental (GE). O objetivo desse experimento é verificar se houve uma diferença significativa entre os dois grupos no tocante ao desempenho. A Seção 5.3 apresenta a descrição de cada um dos experimentos.

Considerando as questões éticas que precisam ser observadas nas pesquisas que envolvem seres humanos, o presente estudo cumpre com todos os procedimentos recomendados pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFPR (CEP/SD), conforme projeto aprovado e identificado pelo Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) 18390219.6.0000.0102. Todos os participantes, professores, pais e/ou responsável legal e aprendizes assinaram os TCLES e TALEs (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e Termo de Assentimento Livre e Esclarecido, respectivamente). Dessa forma, assegurou-se a todos os participantes o direito de sigilo, voluntariado e a interrupção da participação a qualquer momento.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentadas informações sobre o funcionamento do jogo de frações, como ele foi desenvolvido e como foram definidas as intervenções tutoriais apresentadas aos aprendizes durante a interação como o jogo.

5.2.1 Jogo de Frações

Para a realização dos experimentos foi desenvolvido um jogo sobre frações. O jogo consiste na apresentação de 22 operações de frações que considera as quatro operações básicas: soma, subtração, multiplicação e divisão, divididas em quatro níveis de dificuldade. Na Tabela 5.1 pode-se visualizar a distribuição do nível de dificuldade, a quantidade e tipo de operações, se a operação é com duas ou mais frações e o tipo de denominadores (iguais ou diferentes) das operações. A definição do conteúdo, das operações, da distribuição dessas em cada nível e o

grau de dificuldade foram definidos com auxílio de uma professora da área de matemática da UTFPR - Câmpus Pato Branco. Essas operações foram ainda avaliadas, ajustadas e aprovadas pelas professoras de matemática das turmas envolvidas com os experimentos em laboratório.

Tabela 5.1: Distribuição das operações pelo nível de dificuldade.

Nível de dificuldade	Qtde de operações	Soma	Subtração	Multiplicação	Divisão	Qtde de frações/ Tipos de denominadores
1	10	5	5	0	0	Duas frações / iguais
2	4	2	2	0	0	Três frações / iguais
3	4	0	0	2	2	Duas frações / iguais e diferentes
4	4	2	2	0	0	Duas frações / diferentes

O jogo foi desenvolvido em linguagem Python utilizando o framework Django com o banco de dados SQLite. Para o reconhecimento da expressão facial foi usado o API do Microsoft Azure Cognitive Services Emotion¹, uma ferramenta gratuita. O acesso ao jogo era realizado por meio de um website hospedado em um servidor local.

Os aprendizes foram previamente cadastrados (nome, idade, sexo, escola) e no dia do experimento cada um recebeu um *login* para acesso ao jogo. Os dados para o registro foram fornecidos pelas escolas, sendo cadastrado somente os aprendizes que foram autorizados pelos pais e/ou responsável legal para participação dos experimentos. A função desse cadastro é a de distinguir os aprendizes participantes de cada experimento, principalmente quando da aplicação do experimento para os GC e GE.

Foi criado um avatar, chamado de Profª Sol, que teve a função de orientar e apresentar as intervenções para os aprendizes durante o jogo. A Figura 5.1 apresenta a tela inicial do jogo com a Profª Sol convidando os aprendizes a praticarem operações com frações. O avatar foi aplicado em todos os experimentos que utilizaram o jogo de frações.



Figura 5.1: Tela inicial do jogo.

Na tela seguinte (Figura 5.2) foi solicitado aos aprendizes que respondessem três perguntas, entre elas qual a expectativa deles em relação ao jogo, a centralizar sua face no quadro que se apresenta para a captura da imagem e informar o *login* de acesso. No momento que o aprendiz clica no botão "Iniciar Jogo" sua primeira imagem é registrada e, ao mesmo tempo é inferido o seu estado afetivo inicial.

¹<https://azure.microsoft.com/pt-br/services/cognitive-services/emotion/>



Figura 5.2: Tela com as perguntas iniciais e captura da imagem.

Na próxima tela a Profª Sol apresenta as orientações sobre o funcionamento do jogo, além de três operações de frações para que os aprendizes pudessem familiarizar-se com o jogo. Nesse momento não são apresentadas intervenções e esses dados não fazem parte dos resultados da pesquisa. Ao término dessas operações uma mensagem indicava aos aprendizes o início do jogo.

A Figura 5.3 apresenta a tela do jogo, que de modo geral funciona da seguinte forma:

- uma operação de fração é apresentada em uma caixa ('a') que segue o movimento do ponteiro do mouse pela tela;
- várias bolinhas estão em movimento na tela, e apenas uma contém a resposta correta ('b') para a operação apresentada;
- o aprendiz precisa clicar com o mouse sobre a bolinha com a resposta que ele julgar correta;
- se a resposta for a correta uma intervenção é apresentada pela Profª Sol informando que a resposta está certa, e uma nova operação é apresentada;
- caso a resposta esteja incorreta será apresentada uma intervenção (mínima para GC e específica para GE) indicando que a resposta está errada e o aprendiz tem a oportunidade de responder novamente a operação. São concedidas três tentativas, caso o aprendiz do GE erre todas as tentativas, uma intervenção é apresentada indicando a resposta correta e qual foi o erro cometido pelo aprendiz;
- a pontuação ('c') do aprendiz é atualizada de acordo com os acertos/erros de cada operação e ao final do jogo uma mensagem apresenta a sua pontuação total;
- na sequência o aprendiz responde algumas perguntas sobre a percepção que teve sobre o jogo (Figura 5.4);
- ao final uma tela de agradecimento é apresentada ao aprendiz.

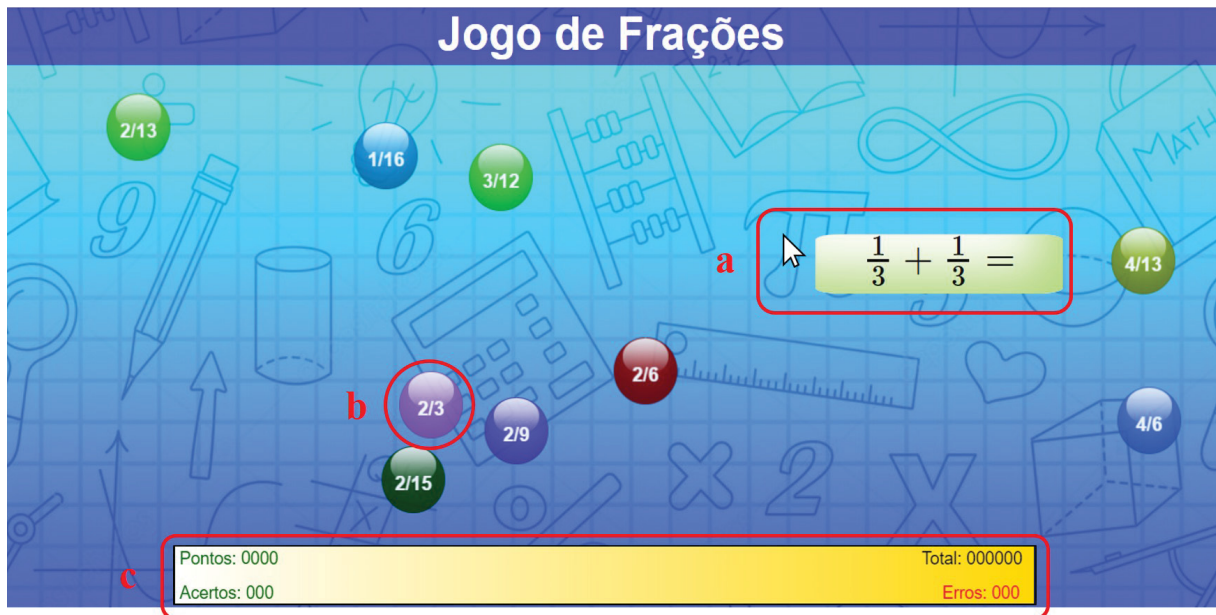


Figura 5.3: Tela do jogo.



Figura 5.4: Perguntas sobre a percepção do jogo.

As perguntas que os aprendizes responderam ao término do jogo foi realizado com o objetivo de verificar qual a percepção de cada um deles sobre o jogo. Se eles acreditavam que o jogo poderia contribuir para a aprendizagem de frações, se o fato de ter um avatar (Profª Sol) e este apresentar mensagens de ajuda durante o jogo contribuiria de forma positiva ou negativa, para a resolução das operações e até mesmo se sentiram dificuldades em resolver as operações. Para os aprendizes do GC foram apresentadas somente as três primeiras perguntas da Figura 5.4, pois eles não receberam intervenções específicas por meio do avatar. Para o GE todas as perguntas estavam visíveis. Para os dois grupos, com exceção da primeira pergunta, as demais foram elaboradas contendo como alternativa de resposta itens da escala Likert com cinco pontos: Concordo totalmente, Concordo, Indeciso, Discordo, Discordo totalmente. Com a finalidade de melhorar o entendimento por parte do aprendiz com relação a sua resposta foram utilizados *Emojis* para representar cada alternativa, conforme pode ser visualizado na Figura 5.4.

Para as etapas pré-teste e pós-teste do E2 foram elaboradas listas de exercícios sobre operações de frações e aplicadas aos aprendizes em dois momentos diferentes, uma lista antes da etapa jogo e outra após. A lista de exercícios da etapa pré-teste teve a finalidade de identificar os conhecimentos prévios dos aprendizes, de organizar os aprendizes em dois grupos homogêneos, GC e GE, além da identificação dos erros cometidos na resolução das operações de frações. O pós-teste teve o objetivo de verificar se os aprendizes do GE, que receberam intervenções específicas durante o jogo, tiveram mais acertos em relação ao GC, que receberam intervenções mínimas. As listas de exercícios aplicadas no pré-teste e pós-teste podem ser visualizadas nos Apêndices A e B, respectivamente.

5.2.2 Definição das Intervenções Tutoriais

Dos 24 subtipos de intervenções apresentados na Tabela 4.2 na Seção 4.2.3, inicialmente seis foram selecionados para serem apresentados aos aprendizes sempre que uma resposta não estava correta. A escolha dos subtipos levou em consideração o conteúdo (operações sobre frações), a forma como ele é apresentado e em função de adequação ao modelo do jogo. A Tabela 5.2 apresenta os tipos e subtipos que foram implementados.

Tabela 5.2: Tipos e subtipos de intervenções implementadas.

Tipos / Subtipos de intervenções	Quando usar
<i>Feedback</i> / Explicativo	Apresentar informações relevantes que ajude a identificar por que uma resposta está incorreta.
<i>Feedback</i> / Diagnóstico	Para evidenciar o erro e indicar uma solução.
<i>Feedback</i> / de meta ou de objetivo	Para auxiliar o aprendiz a encontrar a resposta correta.
Dica / Informação transmitida	Solicitar ao aprendiz que infira ou recorde de uma resposta, ou ainda da próxima etapa de uma solução.
Dica / Apontar para	Apontar para a localização da informação em uma base de conhecimento, por exemplo, mas sem transmitir a informação.
Dica / Linha direta de raciocínio	Quando deseja-se fazer com que o aprendiz tenha que pensar sobre cada uma das etapas até chegar em uma solução.

Foram implementadas ainda mais três subtipos de intervenções, que são apresentadas após esgotarem todas as tentativas do aprendiz em responder uma operação de fração no jogo. A intervenção exibida é do tipo *Feedback* com a indicação da resposta correta e qual foi o erro cometido ou como ele poderia ter resolvido a questão. Ou seja, o aprendiz responde a primeira vez a questão, se errar tem ainda três tentativas e caso erre na última tentativa ele recebe uma intervenção com informações sobre a questão, de modo que ele possa verificar o erro cometido. Para essas intervenções foram implementados os subtipos indicados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Tipos e subtipos de intervenções tutoriais após todas as tentativas.

Tipos / Subtipos de intervenções	Quando usar
<i>Feedback</i> / Conhecimento da resposta correta	Informar a resposta correta ou uma solução como modelo.
<i>Feedback</i> / Corretivo	Auxiliar o aprendiz a identificar o raciocínio incorreto.
<i>Feedback</i> / Resposta continuada	Explicar porque a resposta correta está correta e a resposta incorreta está incorreta.

5.3 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

No total participaram 74 aprendizes do quinto ano do ensino fundamental, 27 do sexo feminino e 47 do sexo masculino, com idades entre 10 e 12 anos de duas escolas do Município de Pato Branco. No E1 participaram 34 aprendizes, sendo 20 da Escola Antonio Cadorin, e 14 da Escola Rocha Pombo, nos dias 18/11/2019 e 19/11/2019, respectivamente. O E2 foi dividido em três etapas nominadas de pré-teste, jogo e pós-teste realizadas nessa ordem 11/11/2019, 29/11/2019 e 02/12/2019. Nestas etapas participaram 40 aprendizes da Escola Rocha Pombo, sendo 20 da turma do período matutino e 20 do período vespertino, divididos em dois grupos homogêneos, GC e GE.

Inicialmente, foi feito o contato com a Secretaria Municipal de Educação e Cultura de Pato Branco para apresentar o projeto de pesquisa e verificar a possibilidade de aplicação dos experimentos nas escolas do município, que foi prontamente autorizado. Duas escolas da rede municipal de ensino da cidade de Pato Branco-PR foram selecionadas, juntamente com a Secretaria Municipal, em função da infraestrutura (laboratório de informática e acesso à internet) necessária para aplicação dos experimentos. São elas: Escola Municipal Antonio Cadorin - Educação Infantil e Ensino Fundamental e Escola Municipal Rocha Pombo - Educação Infantil, Ensino Fundamental, Educação Especial e EJA-Educação de Jovens e Adultos.

Reuniões foram realizadas com a direção e as professoras de matemática de duas escolas para apresentação do projeto, do jogo, de como seria a execução dos experimentos e da documentação necessária. Direção e professoras aderiram a proposta e informaram que os aprendizes estão habituados a utilizar computadores (laboratório de informática e *tablets* (na sala de aula) com softwares educacionais de duas a três vezes por semana na escola. Obtida a aprovação do projeto pela direção e pelas professoras, foram encaminhados para os pais e/ou responsável legal os TCLES e TALES.

A próxima etapa foi visitar os laboratórios para analisar a infraestrutura, acesso à internet, número de computadores e testar o jogo. Na Escola Antonio Cadorin constatou-se que não seria possível a utilização dos computadores do laboratório, por questões técnicas, assim a pesquisadora providenciou notebooks para a realização do experimento. Já na Escola Rocha Pombo foram utilizados os computadores do próprio laboratório de informática, sendo providenciadas algumas *webcams* para completar as já existentes. A Figura 5.5 apresenta o momento que os aprendizes estão utilizando o jogo durante os experimentos.

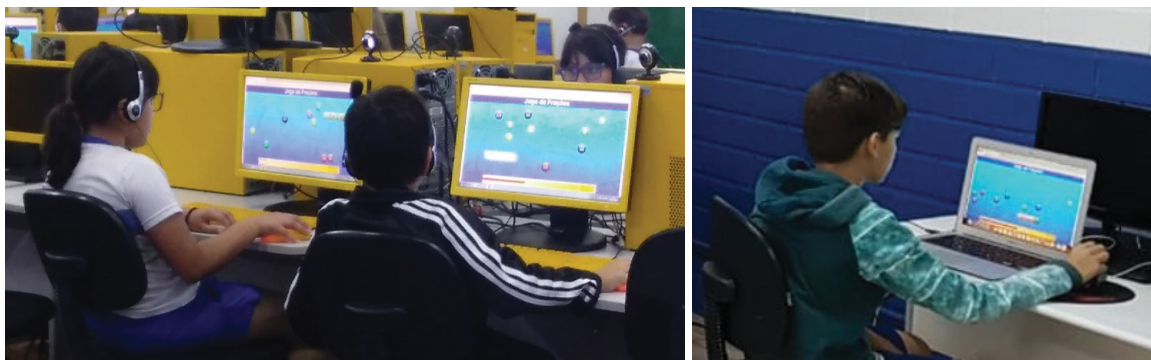


Figura 5.5: Aprendizes nos laboratórios de informática durante a realização dos experimentos.

Nos dias de aplicação dos experimentos os laboratórios eram preparados de modo que os aprendizes ao chegarem, encontravam os computadores ligados, com o jogo carregado e *webcams* configuradas. Antes de iniciar os aprendizes recebiam uma visão geral desta pesquisa e informações sobre o objetivo e um detalhamento sobre o funcionamento do jogo, assim como eram informados que as *webcams* estariam gravando sua imagem durante o experimento, mas que essas não seriam divulgadas. Em seguida, os aprendizes eram orientados a verificar se a sua face encontrava-se centralizada no quadro destinado à captura da imagem e, em alguns casos, devido à diferença de altura entre os aprendizes, foi necessário ajustar a posição das *webcams*. Na sequência, os aprendizes informavam um *login* de acesso que receberam ao entrar no laboratório, acessavam o jogo e realizavam três operações de frações para ambientarem-se ao jogo e tirarem dúvidas. Os dados coletados nessa etapa não fazem parte dos resultados da pesquisa.

5.3.1 Piloto

Um teste piloto foi realizado, antes da aplicação dos experimentos E1 e E2, e contou com a participação de três aprendizes da mesma faixa etária dos participantes dos demais experimentos. Assim, foi possível simular a aplicação do experimento, verificar o tempo para a resolução das operações, averiguar se as operações estavam claras e fáceis de serem compreendidas, avaliar a coleta de dados e o funcionamento do jogo. Após a conclusão desta etapa, adequações foram realizadas no jogo e na interface. As adequações foram com relação a redução da velocidade de movimentação dos objetos que apresentam as respostas das operações de frações. Aumento no tamanho da fonte das telas e caixa de mensagens também foram realizadas. Os dados coletados nesta atividade não foram incluídos nos resultados da pesquisa.

5.3.2 Experimento 1

Neste experimento os aprendizes interagiram com o jogo de frações. A primeira sessão de interação foi realizada no laboratório de informática da Escola Antonio Cadorin, sendo necessário dividir a turma em dois grupos em função do número de notebooks disponíveis. Não houve problemas ou dificuldades no uso dos notebooks, pois o dispositivo que os aprendizes precisavam manusear era o mouse, esse já conhecido por eles, pois eram os mouses dos computadores do próprio laboratório. A segunda sessão de interação ocorreu na Escola Rocha Pombo e os aprendizes também foram divididos em duas turmas iguais. Nessa escola os computadores utilizados eram do próprio laboratório de informática e além do mouse os aprendizes utilizaram fones de ouvido. Observou-se nesse caso um redução na conversa entre os aprendizes durante o experimento em relação aos aprendizes da Escola Antonio Cadorin. Como as turmas precisaram ser divididas foi combinado, antecipadamente com as professoras, que enquanto um grupo

de aprendizes estava no laboratório o demais permaneciam na sala de aula realizando outras atividades. Assim, foram realizadas duas sessões com cada turma de cada escola com tempo médio de 45 minutos, desconsiderando o tempo de apresentação e orientação sobre o experimento. Todos os aprendizes conseguiram concluir o experimento.

No jogo foram implementados os tipos e subtipos de acordo com os erros identificados na etapa pré-teste (Seção 5.3.3.1). A Tabela 5.4 apresenta uma operação de soma de frações com denominadores iguais do nível 1 do jogo, com a indicação de um erro, seu tipo, subtipo, além do tipo, subtipo e texto de intervenção. A coluna "Resposta incorreta" apresenta um erro real que foi identificado na lista de exercícios do pré-teste de um aprendiz.

Tabela 5.4: Exemplo de uma operação do jogo de frações com tipo, subtipo de erro e intervenção tutorial.

Operação	Resposta incorreta	Tipo de erro	Subtipo de erro	Tipo de intervenção	Subtipo de intervenção
$\frac{3}{8} + \frac{1}{8} =$	$\frac{4}{16}$	Diretamente identificável	Deficiência de regra, teorema ou definição	<i>Feedback</i>	Diagnóstico
Texto da intervenção: Resposta incorreta! O erro está no valor do denominador. Na soma de frações com denominadores iguais basta repetir o denominador no resultado.					

A Tabela 5.5 apresenta os possíveis textos de intervenção específica que poderiam ser apresentados quando da soma de duas frações com denominadores iguais em que é verificado que o numerador do resultado está correto e o denominador não. Neste caso foi identificado o subtipo de erro "Deficiência de regra, teorema ou definição", pois o aprendiz aplicou parcialmente de forma correta a regra de soma de denominadores iguais.

Tabela 5.5: Exemplo de textos de intervenções tutoriais para operações de soma com denominadores iguais.

Tipo	Subtipo de intervenção	OP	N	DS	D	Texto da intervenção
Dica	Informação transmitida	+	A	I	A	Nas operações de soma com denominadores iguais deve-se somar um dos termos e repetir o outro.
	Linha direta de raciocínio	+	A	I	A	Os denominadores são iguais ou diferentes? Lembre-se que essa informação define como resolver a operação de soma.
<i>Feedback</i>	Diagnóstico	+	C	I	N	Resposta incorreta! O erro está no valor do denominador. Na soma de frações com denominadores iguais basta repetir o denominador no resultado.
	Explicativo	+	C	I	N	Resposta incorreta, pois o denominador da resposta selecionada não é o correto. Veja que é uma operação de soma e que os denominadores são iguais.

A cada nova tentativa de resposta do aprendiz o jogo realizava uma escolha aleatória entre todas as intervenções que se enquadravam nas regras (Tabela 5.5). Essas regras referem-se ao conjunto de informações coletadas da própria questão:

- OP - Operação: pode ser uma soma (+), subtração (-), multiplicação (x) ou divisão (:);
- DS - Denominadores: verifica se os denominadores das frações são iguais (I) ou diferentes (D);
- N - Numeradores: compara os N da resposta selecionada com os da resposta correta da fração, que pode estar correto (C), não correto (N) ou o valor não interfere (A) na indicação da intervenção específica;
- D - Denominadores: compara os D da resposta selecionada com os da resposta correta da fração, que pode estar correto (C), não correto (N) ou o valor não interfere (A) na indicação da intervenção específica.

No Apêndice C é apresentada uma tabela com todas as regras implementadas no jogo de frações para serem exibidas aos aprendizes nos experimentos E1 e E2.

A Tabela 5.6 apresenta um exemplo de intervenções apresentadas aos aprendizes quando acabar todas as tentativas de responder uma operação. Essas intervenções são escolhidas aleatoriamente observando as regras descritas acima.

Tabela 5.6: Exemplo de textos de intervenções tutoriais apresentadas após todas as tentativas de respostas.

Tipo	Subtipo de intervenção	OP	N	DS	D	Texto da intervenção
<i>Feedback</i>	Conhecimento da resposta correta	+	A	I	A	Resposta incorreta. A resposta correta é { }. Pois nesta operação deve-se somar os numeradores e conservar o denominador. Veja um exemplo: $2/4 + 1/4 = 3/4$
	Corretivo	+	A	I	A	Sua resposta está incorreta. A resposta certa é { }. Nas operações de soma com denominadores iguais deve-se somar os numeradores e manter o denominador.
	Resposta contingente	+	A	I	A	Sua resposta está errada. A resposta certa é { }. Neste caso não foi aplicada corretamente a regra para soma de frações com denominadores iguais.

Por meio desse experimento foram coletados os erros cometidos pelos aprendizes, as intervenções específicas que foram apresentadas e os estados afetivos com base na expressão facial dos aprendizes. Finalizado o experimento foram filtrados da base de dados os registros e analisados para identificar qual intervenção tutorial auxiliou o aprendiz a resolver uma operação para um determinado tipo de erro.

Assim, foi possível observar e identificar quais intervenções específicas, associadas aos tipos de erros, auxiliaram os aprendizes a resolver as operações de frações do jogo, além de acompanhar suas mudanças de estados afetivos. Dessa forma, o jogo foi ajustado para o próximo experimento (E2, descrito na próxima seção), que envolveu outro grupo de aprendizes, estes divididos em GC e GE. Os resultados do E1 são apresentados na Seção 5.4.

5.3.3 Experimento 2

Nesta seção são descritas as etapas pré-teste, jogo e pós-teste que compõem o experimento E2. Apresenta ainda as hipóteses formuladas para os experimentos.

5.3.3.1 Etapa Pré-teste

A primeira atividade de experimento realizada foi a etapa pré-teste, que consistiu na resolução de uma lista de exercícios impressa sobre frações pelos aprendizes. A lista contém quinze operações de frações (soma, subtração, multiplicação e divisão) (Apêndice A). A lista utilizada no pré-teste, assim como a aplicada no pós-teste, foi criada com a ajuda de uma professora da área de matemática, sendo essas analisadas e aprovadas pelas professoras de matemática das turmas.

A aplicação da lista foi realizada pela professora de matemática das duas turmas participantes no mesmo dia, uma do período matutino e a outra do vespertino, em horário regular da turma como sendo uma atividade de revisão de conteúdo. Na sequência a professora corrigiu e atribuiu nota para cada aprendiz, de acordo com a resolução da lista.

Um dos objetivos dessa etapa foi o de criar dois grupos homogêneos (GC e GE) para a etapa que utiliza o jogo de frações e depois para o pós-teste. Para isso, a partir das notas os aprendizes foram ordenados e em seguida foi realizada a divisão em dois grupos, por meio de um processo de amostragem aleatória. Em seguida, foi verificada a homogeneidade dos grupos na média (teste t) e na variância (teste f). Ambos os testes indicaram homogeneidade, ou seja, os dados não evidenciaram diferença significativa, na média e na variância, entre os dois grupos. Com um nível de significância $\alpha=0,05$, teste $t=0,2550$ e teste $f=1,0543$ (variância). De posse desses resultados ficaram definidos os aprendizes de cada um dos grupos (GC e GE) em cada turma.

Outro objetivo da lista foi a de identificar os erros cometidos pelos aprendizes para que essa informação pudesse inicialmente ser classificada e posteriormente implementada no jogo para a aplicação do E1. Cabe lembrar que a etapa pré-teste do E2 ocorreu antes da realização do E1. Com o auxílio de uma professora da área de matemática foi possível identificar e classificar a ocorrência dos seguintes tipos e subtipos de erros, considerando a classificação de erros matemáticos de (Leite et al., 2012): 1) Diretamente identificáveis - erros de deficiência de regra, teorema e definição e erros de deficiência na escolha do operador correto; 2) Indiretamente identificáveis; e 3) Solução não categorizável.

O tipo de erro interpretação equivocada e o subtipo deficiência em relação ao domínio ou uso inadequado de dados não foram identificados na lista de exercícios e dessa forma não foram implementados no jogo. Provavelmente o tipo e/ou subtipo de erro seriam identificados caso o estilo das questões apresentadas fossem exercícios problemas. A Tabela 5.7 apresenta um exemplo de erro cometido pelos aprendizes para uma determinada fração.

Tabela 5.7: Exemplo de erro cometido pelo aprendiz x classificação de erros.

Operação	Respostas	Suposição da resolução do aprendiz	Tipo / Subtipo de erro
$\frac{3}{5} + \frac{1}{5} =$	$\frac{4}{10}$	Somou os numeradores e os denominadores.	Diretamente identificável / Deficiência de regra, teorema ou definição
	$\frac{4}{25}$	Somou os numeradores e multiplicou os denominadores.	
	$\frac{12}{5}$	Não foi possível estabelecer uma lógica para o resultado, assim o erro não está contemplado em nenhum tipo ou subtipo da classificação.	Solução não categorizável
	$\frac{61}{5}$		

É possível observar que a tabela apresenta ainda uma suposição de como o aprendiz chegou no resultado, a identificação e classificação do tipo e subtipo de erro. Essa análise, identificação e classificação foi realizada com todas as operações de frações da lista. No jogo não são utilizadas as mesmas frações da lista, mas mantêm-se o mesmo estilo e grau de dificuldade.

5.3.3.2 Etapa Jogo

Nesta etapa os aprendizes do GC e GE foram convidados a participar da fase de interação com o jogo de frações. No jogo foram implementadas as intervenções do tipo Dica, com o subtipo Informação transmitida, e tipo *Feedback*, com seus subtipos Explicativo, de meta ou de objetivo, Corretivo, Resposta contingente e Conhecimento da resposta correta. Para efeito de análise foram considerados os tipos e não os subtipos de intervenções. Essas intervenções foram definidas considerando o resultado do E1. Como o jogo apresentava intervenções tutoriais diferentes para cada grupo, optou-se por trabalhar com os aprendizes do GC e do GE separadamente, e enquanto um grupo estava no laboratório de informática, o outro permanecia na sala de aula com a professora desenvolvendo outras atividades. Assim, foram realizadas duas sessões com cada turma com tempo médio de 40 minutos.

Para os aprendizes do GC o jogo apresentava intervenções tutoriais mínimas com duas categorias, correta e incorreta, ou seja, apresentava apenas uma mensagem informando se o aprendiz havia acertado ou errado a operação de fração do jogo. Quando a resposta selecionada estava certa, a mensagem "Resposta correta" era apresentada, e quando estava errada era apresentada a mensagem "Resposta incorreta" (Figura 5.6).



Figura 5.6: Caixa de mensagens com intervenções mínimas.

Para os aprendizes do GE apresentava intervenções específicas, do tipo Dica ou *Feedback*, considerando o modelo desenvolvido. Assim, quando o aprendiz selecionava uma resposta errada era verificado o tipo e subtipo de erro, feita a inferência do estado afetivo por meio da expressão facial e na sequência a apresentação de uma intervenção tutorial específica. Após o aprendiz do GE selecionar uma resposta errada pela quarta vez consecutiva, em uma determinada operação jogo, era apresentada em uma caixa de mensagens uma intervenção tutorial específica com a resposta correta e qual o erro cometido. Para os aprendizes do GC era apresentada apenas a intervenção mínima.

Nos dois grupos as intervenções tutoriais foram apresentadas pela Prof^a Sol. Todos os aprendizes concluíram o experimento e os grupos receberam as mesmas operações durante a interação com o jogo de frações. A Figura 5.7 apresenta um exemplo de intervenção tutorial específica, apresentada aos aprendizes do GE, quando da ocorrência de um erro em uma operação de subtração com denominadores iguais.

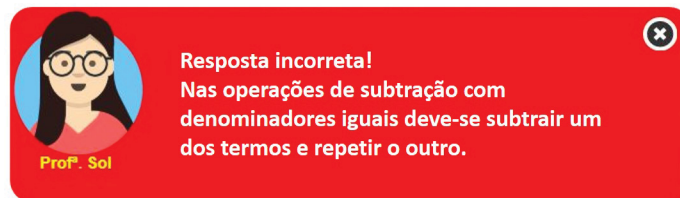


Figura 5.7: Caixa de mensagem com exemplo de uma intervenção tutorial específica.

Os aprendizes do GE também recebiam intervenções tutoriais quando acertavam a resposta de uma operação no jogo de frações. Neste caso, as intervenções parabenizavam os aprendizes pelo resultado obtido, como pode ser visualizado na Figura 5.8.

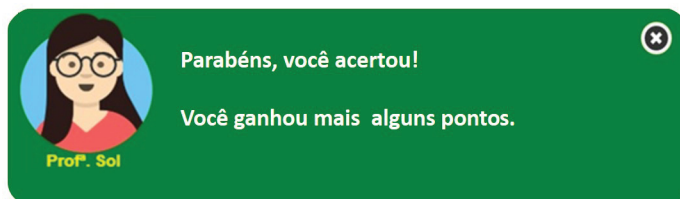


Figura 5.8: Caixa de mensagem com intervenção tutorial quando do acerto de uma operação.

Ao final do jogo os aprendizes responderam as perguntas sobre sua percepção com relação ao jogo de frações, conforme mencionado na Seção 5.2. Os resultados das respostas são apresentados na Seção 5.4. Todos os participantes concluíram o experimento. Os dois grupos receberam exatamente as mesmas operações no jogo, a diferença estava nas intervenções mínimas para o GC e intervenções tutoriais específicas para o GE.

5.3.3.3 Etapa Pós-teste

A última etapa realizada foi o pós-teste, que ocorreu dois dias após o uso do jogo de frações pelos aprendizes do GC e GE. Neste experimento os aprendizes responderam uma nova lista de exercícios impressa sobre frações e assim como no pré-teste a professora de matemática das turmas aplicou, corrigiu e atribuiu nota. A lista de exercícios composta por quinze operações de frações, foi apresentada aos aprendizes como uma atividade regular de sala de aula (Apêndice B).

O objetivo dessa etapa foi o de comparar os resultados do pré-teste com os do pós-teste para verificar se as intervenções tutoriais específicas, que foram apresentadas durante o uso do

jogo de frações no E2, ajudaram os aprendizes do GE a obter um melhor resultado em relação aos aprendizes do GC. Ou seja, confrontar os resultados para avaliar se houve melhora no desempenho dos aprendizes do GE.

5.3.3.4 Hipóteses

Duas hipóteses foram formuladas para os experimentos:

- A primeira hipótese verifica se a média das notas do pós-teste dos aprendizes do GE foi significativamente, a um nível $\alpha=0,05$, maior que a média das notas do pós-teste dos aprendizes do GC;
- A segunda hipótese formulada verifica se a aplicação de intervenções tutoriais específicas apresentadas aos aprendizes do GE, associadas ao contexto deste trabalho, propiciam engajamento/motivação maior se comparado com as intervenções mínimas apresentadas aos aprendizes do GC.

5.4 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

Nesta seção, serão apresentados os principais resultados obtidos com os experimentos E1 e E2, descritos nas seções anteriores. A partir dessas informações uma análise dos resultados para a Hipótese 1 e 2 são apresentadas, além dos resultados das perguntas.

5.4.1 Análise dos Resultados - Hipótese 1

No pré-teste e pós-teste as notas obtidas pelos aprendizes a partir da resolução das listas de exercícios impressas sobre frações foram consideradas para comparação e análise dos resultados. Os resultados obtidos no pré-teste e pós-teste para o GC estão apresentados na Tabela 5.8, bem como os resultados obtidos para o GE estão apresentados na Tabela 5.9. As tabelas apresentam as notas, a média e desvio padrão dos pré-teste e pós-teste dos aprendizes de cada grupo.

Tabela 5.8: Resultado dos aprendizes do GC.

Aprendizes	Pré-teste	Pró-teste
A01GC	42,9	55,0
A02GC	57,1	80,0
A03GC	47,6	60,0
A04GC	19,0	40,0
A05GC	38,1	60,0
A06GC	52,4	55,0
A07GC	61,9	75,0
A08GC	66,7	75,0
A09GC	57,1	70,0
A10GC	57,1	70,0
A11GC	23,8	60,0
A12GC	85,7	85,0
A13GC	23,8	00,0
A14GC	09,5	00,0
A15GC	76,2	85,0
A16GC	57,1	70,0
A17GC	76,2	90,0
A18GC	52,4	70,0
A19GC	71,4	80,0
A20GC	28,6	55,0
Média	49,96	61,75
Desvio Padrão	20,93	24,51

Tabela 5.9: Resultado dos aprendizes do GE.

Aprendizes	Pré-teste	Pró-teste
A01GE	47,6	60,0
A02GE	81,0	85,0
A03GE	71,4	100,0
A04GE	52,4	55,0
A05GE	23,8	55,0
A06GE	19,0	60,0
A07GE	57,1	60,0
A08GE	42,9	45,0
A09GE	57,1	80,0
A10GE	76,2	95,0
A11GE	52,4	80,0
A12GE	90,5	95,0
A13GE	47,6	85,0
A14GE	66,7	90,0
A15GE	61,9	90,0
A16GE	9,5	75,0
A17GE	28,6	65,0
A18GE	52,4	60,0
A19GE	66,7	95,0
A20GE	28,6	55,0
Média	51,67	74,25
Desvio Padrão	21,49	17,19

Para a primeira hipótese, média das notas do pós-teste, a primeira etapa foi realizada o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados (notas), o qual indicou $p\text{-value}=0,0046$ menor que 5% (nível de significância adotado na pesquisa $\alpha=0,05$), ou seja, como $p\text{-value}<0,05$, então confirma-se a normalidade dos dados. Na sequência foi aplicado um teste t para grupos independentes, os resultados sinalizaram positivamente, com um grau de confiança de 95%, com $p\text{-value}=0,0348$ e teste $t=1,8674$, ou seja, os dados revelaram diferença significativa ($\alpha=0,05$) em termos da média das notas entre os aprendizes do GC e o GE. Assim, como $p < \alpha$, há evidências para dizer que essa diferença se deve as intervenções tutoriais específicas apresentadas para o GE que auxiliaram os aprendizes a obterem um melhor resultado no desempenho.

A partir dos dados das Tabelas 5.8 é possível observar que a média do pós-teste do GC foi maior que a média do pré-teste. No entanto, essa diferença não é estatisticamente significativa ($p>\alpha$), com grau de confiança de 95% ($\alpha=0,05$), obteve-se $p\text{-value}=0,0660$ e teste $t=4,0652$. Dessa forma, existe uma indicação de que as intervenções mínimas não auxiliaram os aprendizes na aquisição de conceitos.

Observa-se na Tabela 5.9 que a média do GE no pós-teste foi maior que a média no pré-teste. Uma diferença significativa ($p<\alpha$), com grau de confiança de 95% ($\alpha=0,05$), $p\text{-value}=0,0006$ e teste $t=6,2084$. Assim, pode-se verificar que há indícios que houve um maior desempenho dos aprendizes do GE em relação ao GC. Para análise desses dados foi utilizado o teste t pareado para amostras dependentes.

5.4.2 Análise dos Resultados - Hipótese 2

Para responder a segunda hipótese algumas informações serão apresentadas sobre os experimentos que foram descritos nas Seções 5.3.2 e 5.3.3.

5.4.2.1 Experimento 1

Foram registradas no total 1114 respostas (certas ou erradas), dessas 986 (88,5%) são ocorrências identificadas, ou seja, que foi possível inferir o estado afetivo do aprendiz e mapear no quadrante correspondente, de acordo com a abordagem de representação de emoções por quadrante. Nas demais 128 respostas (11,5%) não foi possível inferir o estado afetivo do aprendiz. Os principais motivos da não identificação foram: posição do aprendiz (fora do enquadramento da *webcam*) e mão na frente do rosto. A média de ocorrências por aprendiz foi de 32,8 com desvio padrão de 5,9.

Das ocorrências identificadas (Tabela 5.10) o quadrante com o maior número de ocorrências de estados afetivos foi o QN com 889 (90,2%), a predominância do estado neutro era esperado para essa atividade e alinha-se com o resultado de outros trabalhos nessa área (D'Mello et al., 2007; Gottardo e Pimentel, 2018). Na sequência o quadrante Q1 (Construção) com 49 (5,0%) ocorrências de estados afetivos como engajamento, alegria e motivação, que são desejados para o processo de aprendizagem. O quadrante Q2 (Dúvidas) registrou 31 (3,1%) ocorrências de emoções como medo, frustração e confusão. Esse resultado ajuda a confirmar que esses estados afetivos estão presentes em atividades de aprendizagem, podendo estar correlacionado positivamente com a aprendizagem (Pour et al., 2010; D'Mello et al., 2007). Em seguida o quadrante Q4 (Reconstrução) com 14 (1,4%) das ocorrências e por fim o Q3 (Desmotivação) com 3 (0,3%) ocorrências.

Tabela 5.10: Número de ocorrências no experimento E1.

Quadrantes	Número de ocorrências identificadas	% de ocorrências
Q1	49	5,0%
Q2	31	3,1%
Q3	3	0,3%
Q4	14	1,4%
QN	889	90,2%
Total	986	
Média	197,2	
Desvio Padrão	387,1	

As intervenções tutoriais específicas geraram 14 mudanças de algum quadrante para Q1 (Tabela 5.11), além de manter seis vezes o quadrante Q1 após a intervenção. Dessas houve cinco ocorrências de mudanças de quadrantes diferentes para Q1 a partir de intervenções que pertencem ao tipo *Feedback* e duas ocorrências de intervenções em que o aprendiz se manteve em Q1. Ainda foram registradas nove ocorrências de mudanças de quadrantes diferentes para Q1 a partir de intervenções do tipo Dica e quatro ocorrências de intervenções onde o aprendiz se manteve em Q1. A partir desse resultado é possível concluir que as intervenções nesse contexto conseguiu proporcionar motivação e engajamento.

Tabela 5.11: Número de mudanças entre quadrantes.

	Nº de mudanças	% de mudanças
Mudou de estado para Q1	14	20,3%
Mudou de estado para Q2	17	24,6%
Mudou de estado para Q3	1	1,4%
Mudou de estado para Q4	1	1,4%
Mudou de estado para QN	36	52,2%
Total	69	

Na Tabela 5.11 é possível verificar que a maior mudança de quadrante foi para o quadrante QN com 52,2%, quadrante de estado afetivo neutro. Na sequência o quadrante Q2 com 24,6%. Esse quadrante registra estados afetivos como medo, frustração e raiva por exemplo. O quadrante Q1, com os estados afetivos como alegria, interesse, engajamento e motivação, registraram 20,3% mudanças de outros quadrantes para o Q1. E 1,4% das mudanças foram para os quadrantes Q3 e Q4. No quadrante Q3 são registrados os estados afetivos como tristeza, tédio, desmotivação e no Q4 são os estados afetivos esperança, alívio e satisfação.

Outra informação a ser apresentada é sobre os acertos e erros das operações em relação a mudança de qualquer quadrante para Q1. No total foram registradas 14 ocorrências de mudança de um quadrante qualquer para o Q1. Na Figura 5.9 é possível observar que 71,4% são os acertos que ocorreram quando da mudança de um quadrante (Q2, Q3, Q4 ou QN) para Q1, ou seja, receberam uma intervenção, acertaram a resposta e mudaram para um estado afetivo que é mapeado pelo quadrante Q1. Visualiza-se ainda o valor de 28,6% que correspondem aos erros cometidos depois de receber uma intervenção e mudar para o quadrante Q1.

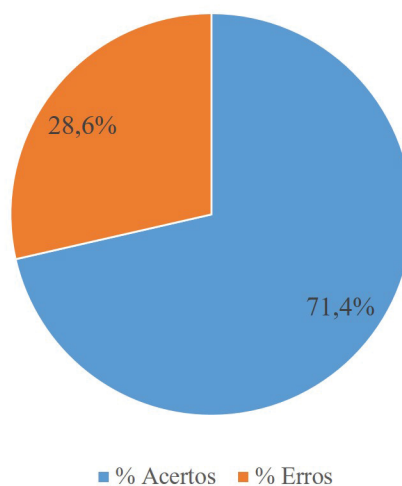


Figura 5.9: % de ocorrências de acertos e erros na mudança para o quadrante Q1.

A Tabela 5.12 apresenta quais intervenções tutoriais específicas foram apresentadas quando da identificação dos tipos e subtipos dos erros cometidos pelos aprendizes durante a interação com o jogo.

Tabela 5.12: Tipos e subtipos de erros x subtipos de intervenção.

		Acertos	Erros	Total	% Acertos	% Erros	Mudança para Q1	Mudança para Q2
Deficiência de regra, teorema ou definição								
Dica	Apontar para	0	1	1	00,0%	100,0%	0	0
Dica	Informação transmitida	24	51	75	32,0%	68,0%	5	2
Dica	Linha direta de raciocínio	1	8	9	11,1%	88,9%	0	1
Feedback	Diagnóstico	2	0	2	100,0%	00,0%	0	0
Feedback	Explicativo	21	38	59	35,6%	64,4%	3	2
Feedback	de meta ou de objetivo	11	21	32	34,4%	65,6%	1	1
Deficiência na escolha do operador correto								
Dica	Informação transmitida	4	10	14	28,6%	71,4%	0	0
Dica	Linha direta de raciocínio	1	0	1	100,0%	00,0%	0	0
Feedback	de meta ou de objetivo	4	4	8	50,0%	50,0%	0	0
Indiretamente identificáveis								
Dica	Informação transmitida	1	1	2	50,0%	50,0%	0	0
Feedback	de meta ou de objetivo	1	2	3	33,3%	66,7%	0	0
Solução não categorizável								
Dica	Apontar para	2	0	2	100,0%	00,0%	0	0
Dica	Informação transmitida	28	47	75	37,3%	62,7%	3	4
Dica	Linha direta de raciocínio	8	15	23	34,8%	65,2%	1	2
Feedback	Diagnóstico	2	0	2	100,0%	00,0%	1	0
Feedback	Explicativo	13	26	39	33,3%	66,7%	0	3
Feedback	de meta ou de objetivo	9	10	19	47,4%	52,6%	0	2
Total		132	234	366			14	17

Sobre o total de 366 ocorrência de intervenções tutoriais, 45,4% correspondem as intervenções do tipo Dica com subtipo Informação transmitida, seguida do tipo *Feedback* subtipo Explicativo com 26,8%. Depois o tipo *Feedback* com subtipo de meta ou de objetivo com 16,9%, na sequência o tipo Dica subtipo Linha direta de raciocínio com 9,0%, em seguida o tipo *Feedback* subtipo Diagnóstico com 1,1% e o tipo Dica subtipo Apontar para com 0,8%.

Com relação as 132 ocorrências de acertos 43,2% das intervenções tutoriais são do tipo Dica com subtipo Informação transmitida, em segundo lugar o tipo *Feedback* subtipo Explicativo com 25,8%, seguido do subtipo de meta ou de objetivo com 18,9%. O tipo Dica com subtipo Linha direta de raciocínio com 7,6%, o tipo *Feedback* subtipo Diagnóstico com 3,0% e por fim o tipo Dica com subtipo Apontar para com 1,5%. Observa-se que as intervenções tutoriais do tipo Dica subtipo Informação transmitida, e tipo *Feedback* com os subtipos Explicativo e de meta ou de objetivo, recebidas pelos aprendizes durante a resolução das operações de frações, obtiveram os maiores valores percentuais de acertos em relação ao total de acertos.

Pode-se observar na Tabela 5.12 que as intervenções tutoriais do tipo Dica subtipo Informação transmitida, para os erros "Deficiência de regra, teorema e definição" e "Solução não categorizável", e o tipo de intervenção *Feedback* subtipo Explicativo, para o erro "Deficiência de regra, teorema e definição", tiveram mudanças para quadrante com mais motivação e engajamento

(mudança para Q1) e percentual de acerto maior que as demais intervenções. Os resultados demonstram que dentre os tipos de intervenções tutoriais apresentados aos aprendizes durante o experimento, esse dois tipos são os que mais indicados para manter o engajamento e motivação alta dos aprendizes na ocorrência desses tipos de erros.

Outra informação são as mudanças para quadrante Q2, que nem sempre está relacionado ao erro de forma negativa. Do total de 17 ocorrências de mudança para Q2, nove são mudanças em que o aprendiz acertou a resposta da operação de frações. Lembrando que Q2 possui ativação positiva, assim o aprendiz pode não estar motivado, mas agitado por querer resolver a operação apesar da inferência de emoção de confusão ou dúvida. O desempenho em atividades educativas tem relação com o nível de ativação do aprendiz, sendo os melhores níveis de desempenho aqueles obtidos com níveis intermediários de ativação (Shen et al., 2007).

Com base no contexto desse experimento os resultados demonstram que as intervenções que mais auxiliaram os aprendizes a responder corretamente as operações de frações do jogo foram, o tipo Dica com o subtipo Informação transmitida e o tipo *Feedback* com o subtipo Explicativo e de meta ou de objetivo para todos os tipos de erros identificados. Essas informações foram consideradas e utilizadas para definir as intervenções tutoriais específicas a serem apresentadas aos aprendizes do GE no experimento E2.

5.4.2.2 Experimento 2

Foram registradas 1361 ocorrências de estados afetivos durante o jogo. Dessas, 1244 (91,4%) são ocorrências identificadas, ou seja, que foi possível inferir a emoção do aprendiz por meio da expressão facial e mapear no quadrante correspondente, de acordo com a abordagem de representação de emoções por quadrante. Não foram identificadas 117 (8,6%) ocorrências (Figura 5.10). Os principais motivos da não identificação da face foram a posição do aprendiz em relação a *webcam*, a mão na frente da boca ou do rosto. A média de ocorrências de estados afetivos por aprendiz foi de 31,1 com desvio padrão de 6,4.

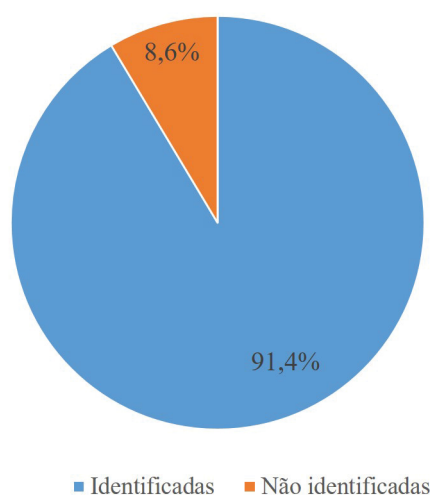


Figura 5.10: % de ocorrências identificadas e não identificadas.

A Tabela 5.13 apresenta o número e o valor percentual (%) de ocorrências por quadrante em cada um dos grupos.

Tabela 5.13: Total de ocorrências por quadrante.

Quadrantes	GC	GE	% GC	% GE
Q1	16	59	2,5%	9,7%
Q2	10	17	1,6%	2,8%
Q3	0	0	0,0%	0,0%
Q4	10	16	1,6%	2,6%
QN	602	514	94,4%	84,8%
Total	638	606	100,0%	100,0%

Assim como no experimento E1, pode ser observado que o quadrante com o maior número de ocorrências de estados afetivos foi o QN, nos dois grupos, com 94,4% para o GC e 84,8% para o GE. O predomínio do estado afetivo neutro era esperado para essa atividade e alinha-se com o resultado de outros trabalhos nessa área (D'Mello et al., 2007) e (Gottardo e Pimentel, 2018). Na sequência o quadrante Q1 apresenta 2,5% de ocorrências para o GC e 9,7% para o GE. Isso significa que os aprendizes do GE obtiveram mais ocorrências do quadrante Q1 em relação ao GC. Esse quadrante identifica a ocorrência de estados afetivos como alegria, engajamento, interesse e motivação, estados esses desejados para melhorar a experiência e os resultados de aprendizagem.

A Tabela 5.14 apresenta o número de ocorrências de intervenções para cada grupo. Essas intervenções foram apresentadas para os aprendizes dos GC e GE sempre que a resposta selecionada para uma operação estava incorreta.

Tabela 5.14: Total de ocorrências de intervenções tutoriais por grupo.

	Nº de ocorrências de intervenções	Nº de acertos	Nº de erros	% de acertos por grupo	% de erros por grupo
GC	264	64	200	24,2%	75,8%
GE	217	77	140	35,5%	64,5%
Total	481	141	340		
Média	241	71	170		
Desvio padrão	33,2	9,2	42,4		

O GE obteve um valor percentual de 35,5% de acertos com o uso das intervenções tutoriais específicas em relação ao total de ocorrências do grupo, e 64,5% de erros. O GC obteve 24,2% de acertos com o uso de intervenções mínimas e 75,8% de erros em relação ao total de ocorrências. Observa-se que os aprendizes do GE tiveram um número maior de acertos que os aprendizes do GC. Isso indica que as intervenções tutoriais específicas recebidas pelos aprendizes do GE ajudaram na resolução das operações de frações do jogo em relação ao outro grupo que não recebeu os mesmos tipos de intervenções.

A Tabela 5.15 apresenta as mudanças de quadrante dos aprendizes por tipo de intervenção (mínima ou específica) em cada grupo.

Tabela 5.15: Mudança de quadrante x intervenção.

	GC		GE	
	Intervenção mínima	% sobre o total de mudanças	Intervenção específica	% sobre o total de mudanças
Mudou de estado para Q1	5	11,4%	18	36,7%
Mudou de estado para Q2	3	6,8%	5	10,2%
Mudou de estado para Q3	0	0,0%	0	0,0%
Mudou de estado para Q4	6	13,6%	4	8,2%
Mudou de estado para QN	30	68,2%	22	44,9%
Total	44	100,0%	49	100,0%

É possível observar que as intervenções específicas do GE obtiveram um percentual maior (36,7%) em relação à intervenção mínima do GC (11,4%). Essa informação é uma indicação que intervenções tutoriais específicas, como do tipo Dica ou *Feedback*, dadas ao GE nesse contexto ajudaram os aprendizes a manterem-se mais motivados, interessados e engajados que os aprendizes do GC que receberam intervenções mínimas.

A maior mudança foi dos quadrantes Q1, Q2 ou Q4 para o quadrante QN. As intervenções específicas do tipo Dica e *Feedback* do GE geraram 18 mudanças de algum quadrante para Q1 (Tabela 5.16), além de manter 12 vezes o quadrante Q1 após a intervenção. Dessas houve seis ocorrências de mudanças de quadrantes diferentes para Q1 a partir de intervenções do tipo *Feedback* e nove ocorrências de intervenções onde o aprendiz se manteve em Q1. Ainda no GE aconteceu 12 ocorrências de mudanças de quadrantes diferentes para Q1 a partir de intervenções do tipo Dica e três ocorrências de intervenções em que o aprendiz se manteve em Q1. Já para o GC houve somente cinco mudanças de algum quadrante para o Q1 a partir de uma intervenção mínima (certo/errado) e não foi registrada nenhuma ocorrência em que o quadrante Q1 se manteve.

Tabela 5.16: Total de mudanças e manutenção para quadrante Q1.

GE	Qualquer Q - Q1	Q1 - Q1
Dica	12	3
<i>Feedback</i>	6	9
Total	18	12

Outra informação a ser apresentada é sobre os acertos e erros das operações em relação a mudança de qualquer quadrante para Q1 (Qualquer Q - Q1). A Figura 5.11 apresenta que das 18 mudanças de algum quadrante (Q2, Q4 ou QN) para o quadrante Q1 no GE, 61,1% foram acertos e 38,9% correspondem aos erros.

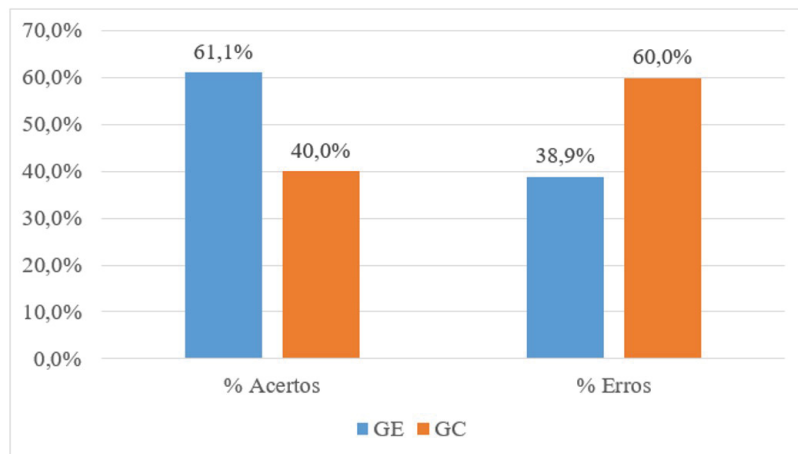


Figura 5.11: % de acertos e erros na mudança de quadrante para Q1.

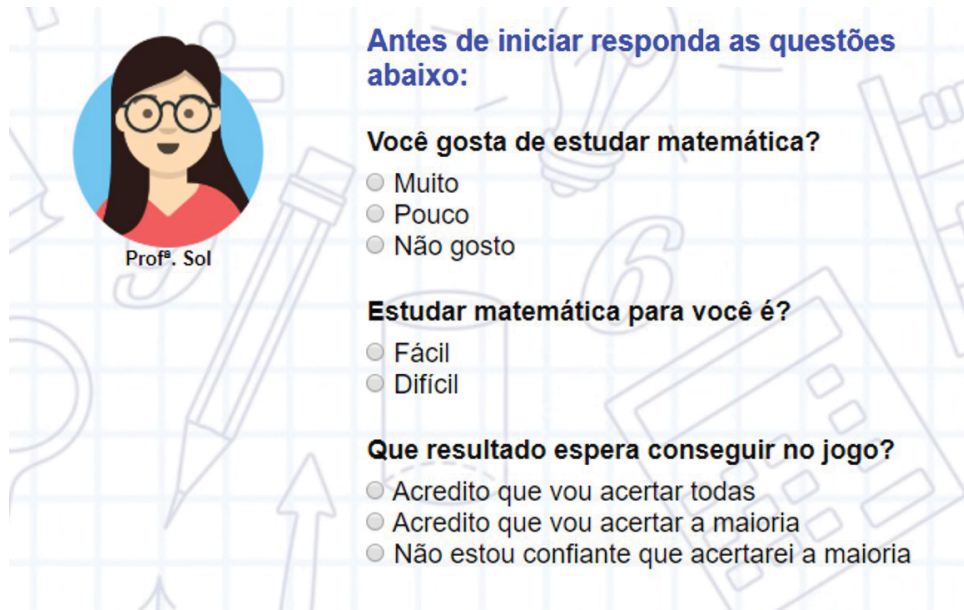
No GC foram cinco mudanças e o percentual de acerto foi de 40,0% e de erros 60,0%. Se analisado os valores em relação ao total de mudanças (23), o GE obteve 78,3% das mudanças, enquanto o GC 21,7%. Ainda sobre os valores em relação ao total de mudanças, o GE apresenta 84,6% de acertos enquanto o GC 15,4%. Dessa forma é possível observar que as intervenções tutoriais específicas (GE) ajudaram os aprendizes a acertarem mais operações de frações que os aprendizes que receberam o tipo de intervenção mínima. A partir desse resultado é possível concluir que a segunda hipótese foi atendida.

5.4.3 Resultado das Perguntas

Nesta seção são apresentadas informações sobre as perguntas que os aprendizes responderam no início e no final dos experimentos E1 e E2 (GC e GE).

5.4.3.1 Perguntas - Início do Jogo

Ao iniciar os experimentos E1 e E2, os aprendizes são convidados a responder três perguntas, conforme apresenta a Figura 5.12, com o objetivo de verificar a motivação dos aprendizes em relação à matemática.



Antes de iniciar responda as questões abaixo:

Você gosta de estudar matemática?

- ☐ Muito
- ☐ Pouco
- ☐ Não gosto

Estudar matemática para você é?

- ☐ Fácil
- ☐ Difícil

Que resultado espera conseguir no jogo?

- ☐ Acredito que vou acertar todas
- ☐ Acredito que vou acertar a maioria
- ☐ Não estou confiante que acertarei a maioria

Figura 5.12: Perguntas da tela inicial do jogo de frações.

Os resultados podem ser observados na Tabela 5.17. Na pergunta número um, "Você gosta de estudar matemática?", do total de 34 aprendizes do experimento E1, 21 (61,8%) responderam que gostam muito de estudar matemática, nove (26,5%) disseram pouco e quatro (11,8%) informaram a opção não gosto. No experimento E2 dos 20 aprendizes do GC, 11 (55,0%) disseram muito, oito (40,0%) pouco e um (5,0%) marcou a opção não gosto. No GE dos 20 aprendizes nove (45,0%) afirmaram gostar muito, 10 (40,0%) disseram que gostam pouco e novamente um (5,0%) informou que não gosta de estudar matemática.

Tabela 5.17: Resultado da pergunta número um - "Você gosta de estudar matemática?".

	E1	E2	
		GC	GE
Muito	21	11	9
Pouco	9	8	10
Não gosto	4	1	1
Total de aprendizes	34	20	20

Para a segunda pergunta, "Estudar matemática para você é?", os resultados do experimento E1 indicam que 70,6% (24 aprendizes) consideram que é fácil estudar matemática, enquanto 29,4% (10 aprendizes) acreditam ser difícil, conforme apresenta a Figura 5.13. Para os aprendizes do experimento E2 do GC e GE ocorreram os mesmos resultados para a pergunta número dois, 13 aprendizes (65%) consideram ser fácil e sete aprendizes (35,0%) julgaram ser difícil estudar matemática, conforme apresenta a Figura 5.14.

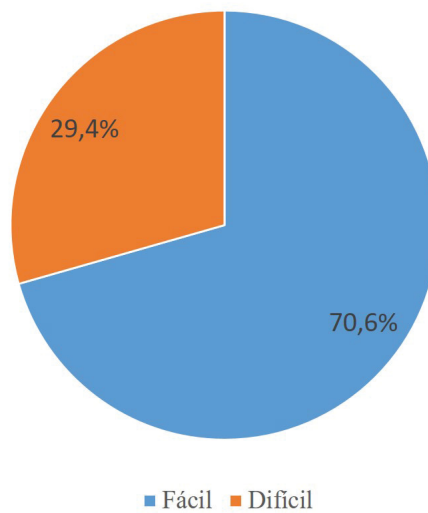


Figura 5.13: Resultado do experimento E1 pergunta número dois - "Estudar matemática para você é?".

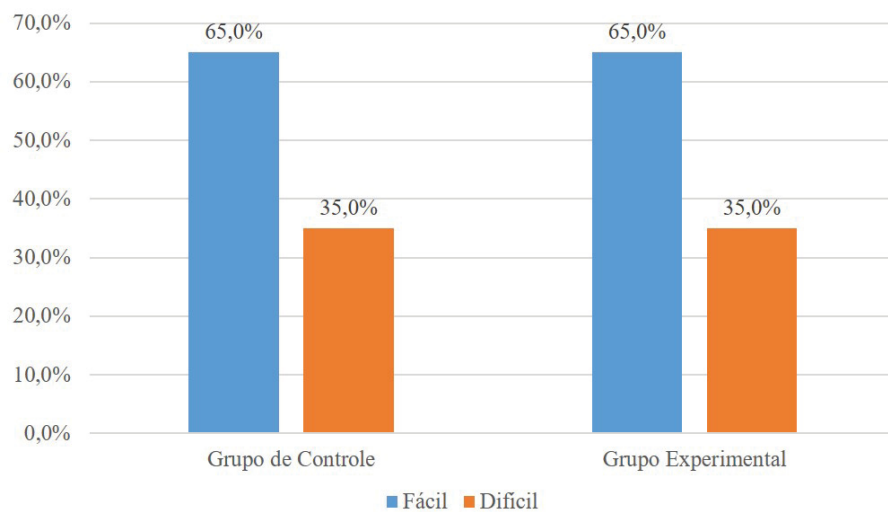


Figura 5.14: Resultado do experimento E2 GC e GE pergunta número dois - "Estudar matemática para você é?".

De modo geral, observou-se que do total de 74 aprendizes participantes dos experimentos, 41 (55,4%) responderam que gostam muito de estudar matemática, destes 39 consideram que é fácil estudar matemática e dois disseram ser difícil. Dos 27 (36,5%) aprendizes que responderam gostar pouco de estudar matemática, 10 indicaram que é fácil e 17 que é difícil estudar matemática. E dos 6 (8,1%) aprendizes que responderam não gosto, um considera que é fácil e cinco que é difícil estudar matemática. A Figura 5.15 apresenta os dados.

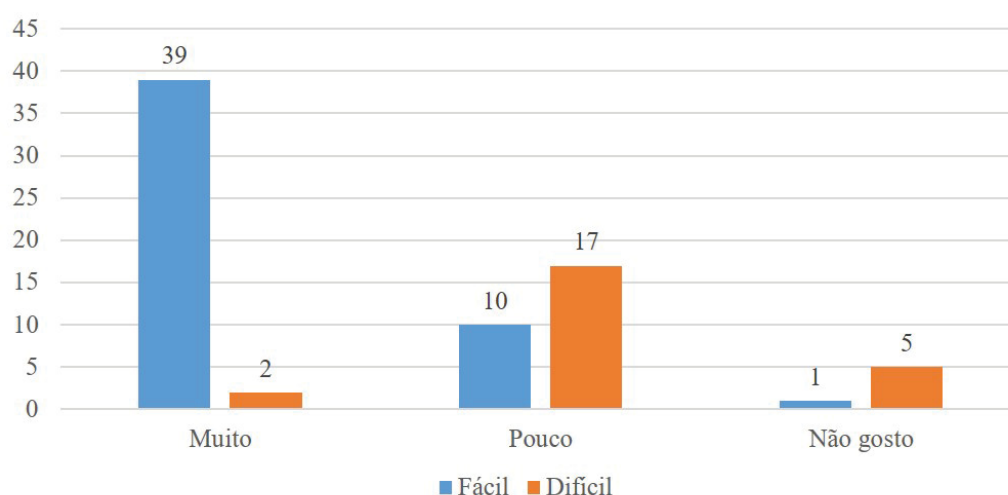


Figura 5.15: Resultado do número de aprendizes para a pergunta "Você gosta de estudar matemática?" x "Estudar matemática para você é?".

Outro ponto observado a partir das respostas fornecidas pelos aprendizes para a primeira e segunda pergunta, foi que os aprendizes que indicaram gostar muito de estudar matemática tiveram a menor média de erros em relação aos aprendizes que responderam pouco ou não gosto.

A terceira pergunta, "Que resultado espera conseguir no jogo?", diz respeito a expectativa do aprendiz com relação ao resultado final do jogo de frações. Foram apresentadas três alternativas de respostas para os aprendizes. As opções de respostas e os resultados são apresentadas na Tabela 5.18.

Tabela 5.18: Resultado da pergunta número três - "Que resultado espera conseguir no jogo?".

	E1	E2	
		GC	GE
Acredito que vou acertar todas	4	2	4
Acredito que vou acertar a maioria	25	13	14
Não estou confiante que acertarei a maioria	5	5	2
Total de aprendizes	34	20	20

No experimento E1 quatro aprendizes (11,8%), no experimento E2 GC dois (10,0%) e GE quatro (20%) informaram que acreditavam acertar todas as operações do jogo. Do total de aprendizes do experimento E1, 25 (73,5%) marcaram a opção "Acredito que vou acertar a maioria", do total de aprendizes do GC foram 13 (65,0%) e do GE 14 (70,0%). Esta opção foi a mais selecionada pelos aprendizes. A última opção foi selecionada por cinco aprendizes no experimento E1 (14,7%) e GC (25%), e no GE foram dois aprendizes (10%).

Na Figura 5.16 é possível observar que dos 39 aprendizes que responderam muito para a pergunta número um, e fácil para a pergunta número dois, sete (17,9%) também responderam que iriam acertar todas as operações do jogo, 28 (71,8%) que iriam acertar a maioria e quatro (10,3%) que não acertariam a maioria. Dos dois que responderam muito para a pergunta número um, e difícil para a pergunta número dois, um informou que acreditava que iria acertar a maioria e o outro que não acertaria a maioria das operações. Para os 10 aprendizes que responderam muito para a pergunta número um, e fácil para a pergunta número dois, um (10,0%) informou que iria acertar todas as operações, seis (60,0%) que iriam acertar a maioria e 3 (30,0%) que

não acertariam a maioria. Dos 17 que responderam muito para a pergunta número um, e difícil para a pergunta número dois, dois (11,8%) responderam que iriam acertar todas as operações do jogo, 14 (82,4%) que acertariam a maioria e um (5,9%) que não acertaria a maioria. Dos aprendizes que responderam que não gostam de estudar matemática, um considera que é fácil e indicou que não acertaria a maioria das operações do jogo, cinco informaram que é difícil, sendo que três indicaram que iriam acertar a maioria e dois que não acertariam a maioria das operações. Verificou-se assim que a expectativa em acertar a maioria das operações de frações do jogo foi indicada pela maior parte dos aprendizes, que também informaram que gostam muito e que consideram que é fácil de estudar matemática.

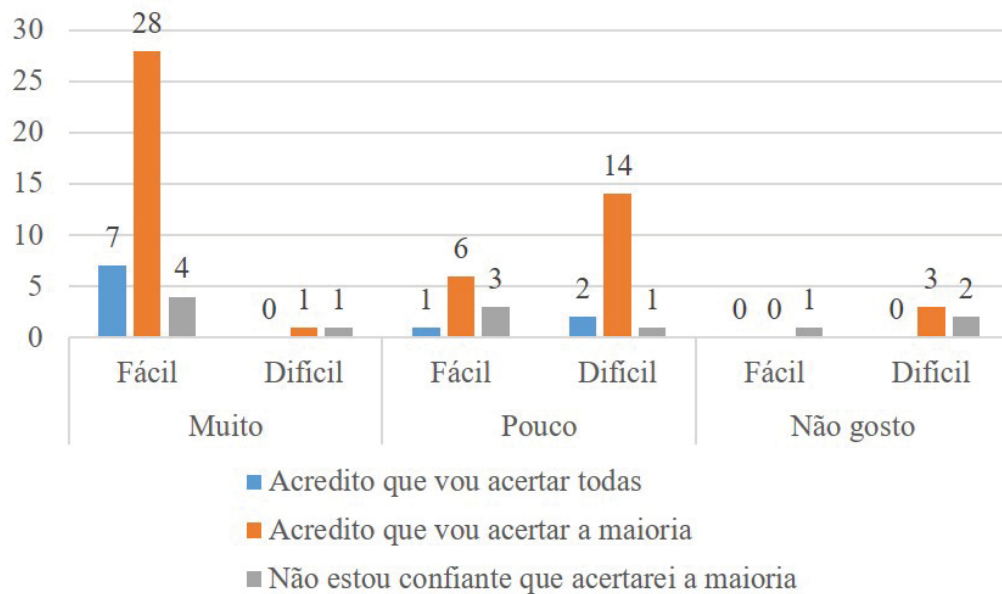


Figura 5.16: Resultado do número de aprendizes para a pergunta "Que resultado espera conseguir no jogo?" x "Você gosta de estudar matemática?" x "Estudar matemática para você é?".

Foi observado ainda que os aprendizes que indicaram que acertariam todas e a maioria das operações de frações do jogo, que gostam muito e consideram que é fácil estudar matemática tiveram a menor média de erros no jogo.

5.4.3.2 Perguntas - Final do Jogo

Ao término dos experimentos E1 e E2, os aprendizes responderam outro questionário, formado por seis perguntas, com o objetivo de verificar qual a percepção que eles tiveram sobre o jogo de frações.

A primeira pergunta (P1) foi: "O resultado do jogo foi o que você esperava inicialmente?". Lembrando que, no início do jogo eles responderam qual era a sua expectativa com relação ao resultado do jogo, se acreditavam que iriam acertar todas, a maioria ou que não iriam acertar a maioria das operações de frações do jogo. Foram apresentadas duas opções de respostas para a pergunta P1, Sim ou Não. Do total de 34 aprendizes do experimento E1, 73,5%, ou seja, 25 aprendizes responderam que sim, que o resultado do jogo de frações foi o que eles esperam, e 26,5% (nove aprendizes) responderam Não. A Figura 5.17 apresenta o resultado da pergunta P1 dos aprendizes do experimento E1.

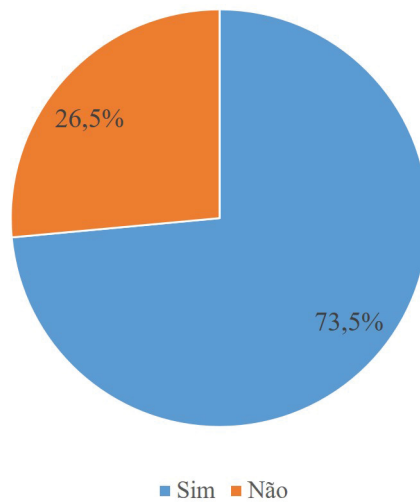


Figura 5.17: Resultado da pergunta P1 "O resultado do jogo foi o que você esperava inicialmente?" dos aprendizes do experimento E1.

O resultado das respostas dos aprendizes do experimento E2, para os grupos GC e GE, ficaram de acordo com o apresentado na Figura 5.18. Lembrando que cada grupo era composto por 20 aprendizes tem-se que no GC 14 aprendizes (70,0%) responderam sim e seis (30,0%) responderam não. No GE ocorreu um empate, 10 aprendizes responderam sim e 10 responderam não, ou seja, 50,0% para sim e 50,0% para não.

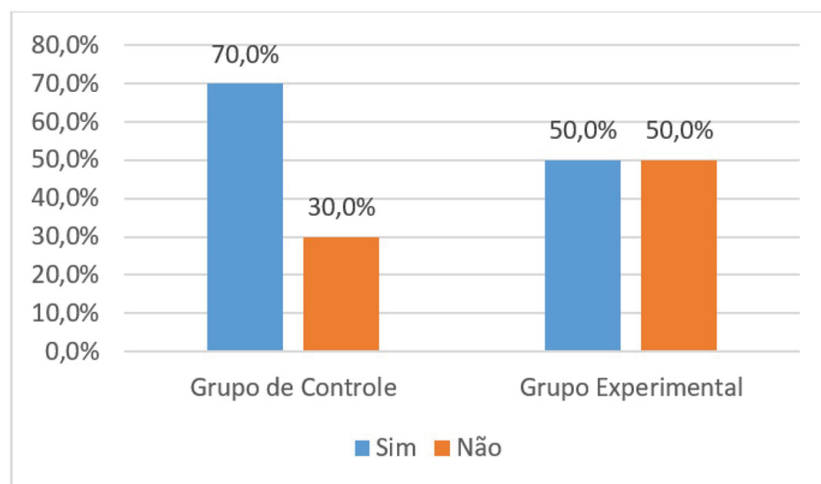


Figura 5.18: Resultado da pergunta P1 "O resultado do jogo foi o que você esperava inicialmente?" dos aprendizes do experimento E2 - GC e GE.

Dos 10 aprendizes que indicaram no início do jogo que acertariam todas as operações de frações, 30,0% (três aprendizes) confirmaram suas expectativas com relação ao resultado do jogo. Dos 52 aprendizes que indicaram no início do jogo que acertaria a maioria das operações, 34,6% (18) dos aprendizes confirmaram que o resultado foi o esperado. E dos 12 aprendizes que informaram que acertariam a minoria das operações, 50,0% (seis aprendizes) confirmaram suas expectativas iniciais.

As próximas perguntas (P2-P5) foram criadas com base em respostas de acordo com os cinco pontos da escala Likert (Willits et al., 2016), Concordo Totalmente, Concordo, Indeciso,

Discordo, Discordo Totalmente. Desse modo os aprendizes podem indicar seus sentimentos, ou, o grau de concordância, em relação a cada item na escala. Com o objetivo de melhorar o entendimento por parte dos aprendizes com relação as suas respostas, foram utilizados *Emojis* para representar cada item de respostas criados a partir da escala de Likert, conforme apresenta a Figura 5.19.



Figura 5.19: *Emojis* como item de resposta em escala Likert.

Estes itens de respostas eram selecionados para as seguintes perguntas apresentadas aos aprendizes:

- (P2) O Jogo colaborou para você aprender o conteúdo sobre frações?
- (P3) Você sentiu dificuldade em resolver as operações do jogo?
- (P4) Foi importante receber ajuda da Profª Sol durante o jogo?
- (P5) A Profª Sol ajudou você a resolver as operações?

Para os aprendizes do GC foram apresentadas somente as perguntas P2 e P3, pois as perguntas P4 e P5 tratam da apresentação das intervenções tutoriais específicas durante o uso do jogo de frações, e o GC recebeu somente as intervenções mínimas. Para os aprendizes do experimento E1 e experimento E2 GE todas as perguntas estavam visíveis, pois estes receberam intervenções específicas por meio do avatar Profª Sol.

A Tabela 5.19 apresenta os resultados das perguntas (P2-P5) que foram respondidas pelos 34 aprendizes do experimento E1 para cada item da escala, e a Figura 5.20 apresenta os valores percentuais.

Tabela 5.19: Resultado das perguntas P2-P5 dos aprendizes do experimento E1.

Perguntas	Itens das respostas				
	Concordo Totalmente	Concordo	Indeciso	Discordo	Discordo Totalmente
P2	15	9	7	2	1
P3	9	14	7	4	0
P4	12	14	6	0	2
P5	14	6	10	3	1

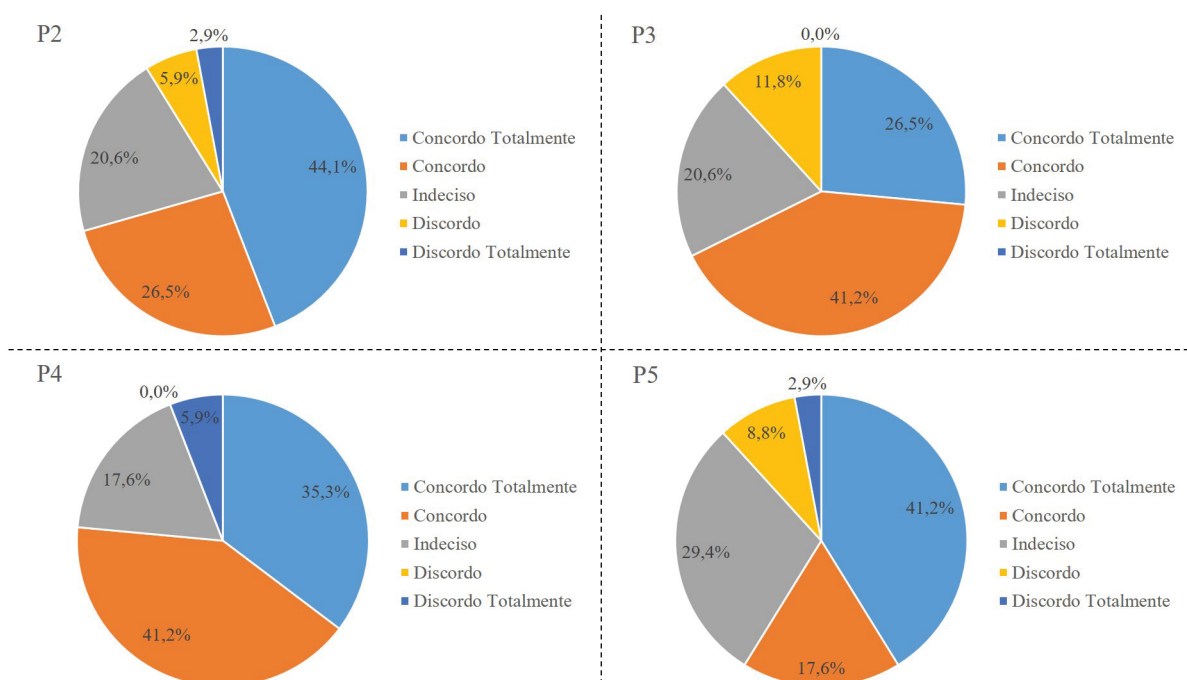


Figura 5.20: Resultado das perguntas P2-P5 dos aprendizes do experimento E1 em valores percentuais.

Os dados demonstram que para as perguntas P2, P3 e P4 o registro de respostas foi maior para "Concorde Totalmente" e "Concorde", nesta ordem para: P2 com 44,1% e 26,6%; P3 com 26,5% e 41,2%; P4 com 35,3% e 41,2%, conforme pode ser visualizada na Figura 5.20. Ao somar os valores das respostas dos itens "Concorde Totalmente" e "Concorde" de todas as perguntas tem-se valores percentuais acima de 58,8% de concordância (pergunta P5), na P4 chega ao valor de 76,5%. Esse percentual de concordância (pergunta P4), indica que na percepção dos aprendizes foi importante receber ajuda (intervenções tutoriais) da Prof^a Sol.

Os resultados da pergunta P2 demonstram que 70,6% (Concorde Totalmente + Concorde) dos aprendizes consideram que o jogo contribuiu para aprendizagem do conteúdo de frações, 20,6% dos aprendizes ficaram indecisos e 8,8% (Discordo + Discordo Totalmente) dos aprendizes discordam da pergunta P2.

Para a pergunta P3 os resultados mostram que 67,6% (Concorde Totalmente + Concorde) dos aprendizes sentiram dificuldade para resolver as operações de frações do jogo, 20,6% ficaram indiferentes e 11,8% (Discordo) dos aprendizes discordam da pergunta P3. Complementando os resultados da pergunta P4, observa-se que 17,6% dos aprendizes responderam "Indeciso" e 5,9% (Discordo Totalmente) dos aprendizes consideraram que não foi importante receber ajuda da Prof^a Sol durante o jogo. Em relação a pergunta P5, os resultados obtidos indicam que 58,8% (Concorde Totalmente + Concorde) dos aprendizes consideram que a Prof^a Sol ajudou a resolver as operações de frações, 29,4% ficaram indecisos e 11,8% (Discordo + Discordo Totalmente) discordaram da P5.

A Tabela 5.20 apresenta os resultados das perguntas P2 e P3 que foram respondidas no experimento E2 pelos aprendizes do GC para cada item da escala, e a Figura 5.21 apresenta os valores percentuais.

Tabela 5.20: Resultado das perguntas P2 "O Jogo colaborou para você aprender o conteúdo sobre frações?" e P3 "Você sentiu dificuldade em resolver as operações do jogo?" dos aprendizes do experimento E2 GC.

Perguntas	Itens das respostas				
	Concordo Totalmente	Concordo	Indeciso	Discordo	Discordo Totalmente
P2	7	12	1	0	0
P3	6	7	5	2	0

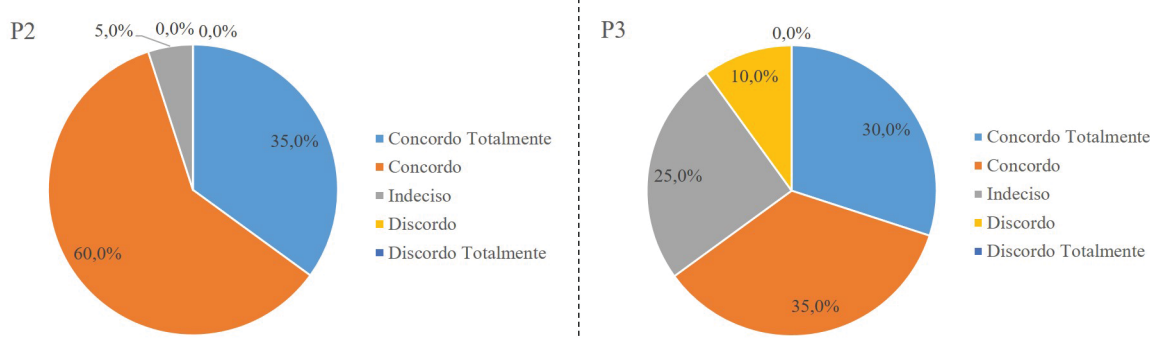


Figura 5.21: Resultado das perguntas P2 "O Jogo colaborou para você aprender o conteúdo sobre frações?" e P3 "Você sentiu dificuldade em resolver as operações do jogo?" dos aprendizes do experimento E2 GC em valores percentuais.

Os dados mostram que para as duas perguntas o registro de respostas foi maior para "Concordo Totalmente" e "Concordo", nesta ordem para: P2 com 35,0% e 60,0%; P3 com 30,0% e 35,0%, conforme pode ser visualizada na Figura 5.21. Os resultados da pergunta P2 demonstram que 95,0% (Concordo Totalmente + Concordo) dos aprendizes consideram que o jogo contribuiu para aprendizagem do conteúdo de frações, 5,0% dos aprendizes ficaram indecisos e não ocorreu nenhum registro de discordância para a pergunta P2.

Para a pergunta P3 os resultados mostram que 65,0% (Concordo Totalmente + Concordo) dos aprendizes sentiram dificuldade para resolver as operações de frações do jogo, 25,0% responderam "Indeciso" e 10,0% (Discordo) dos aprendizes consideraram que não tiveram dificuldades.

A Tabela 5.21 apresenta os resultados das perguntas (P2-P5) que foram respondidas no experimento E2 pelos aprendizes do GE para cada item da escala, e a Figura 5.22 apresenta os valores percentuais.

Tabela 5.21: Resultado das perguntas P2-P5 dos aprendizes do experimento E2 GE.

Perguntas	Itens das respostas				
	Concordo Totalmente	Concordo	Indeciso	Discordo	Discordo Totalmente
P2	9	10	1	0	0
P3	2	8	8	2	0
P4	7	9	2	1	1
P5	4	12	2	1	1

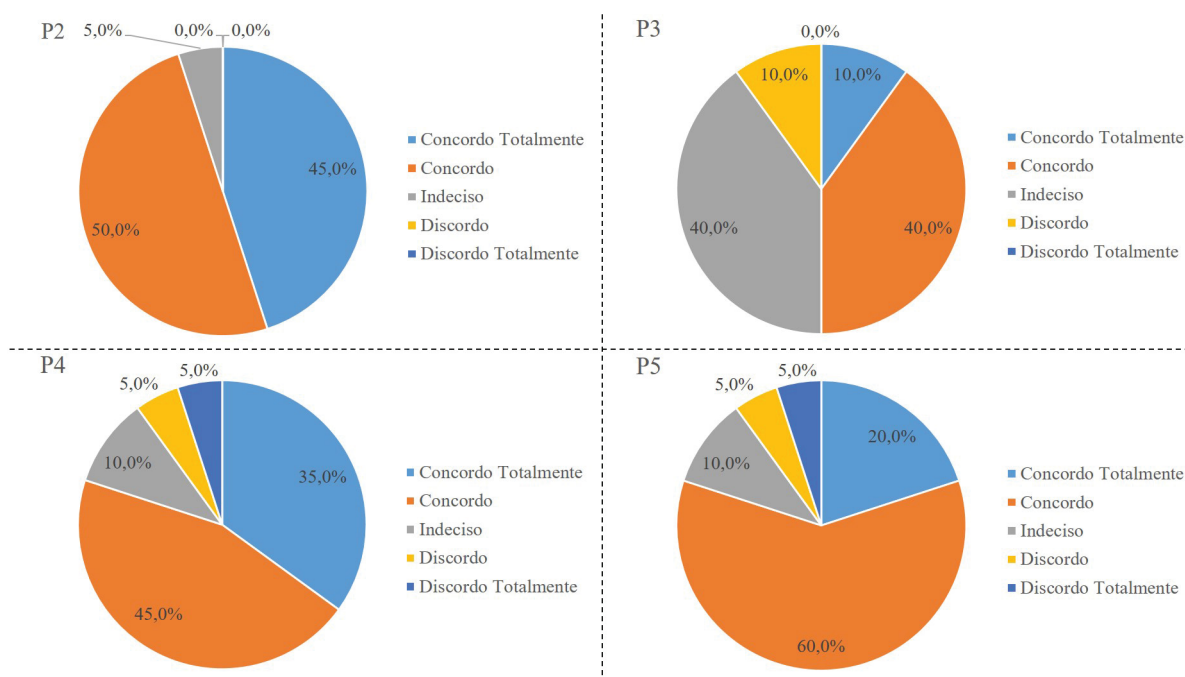


Figura 5.22: Resultado das perguntas P2-P5 dos aprendizes do experimento E2 GE em valores percentuais.

Os dados demonstram que para as perguntas P2, P4 e P5 o registro de respostas foi maior para "Concorde Totalmente" e "Concorde", nesta ordem para: P2 com 45,0% e 50,0%; P4 com 35,0% e 45,0%; P5 com 20,0% e 60,0%, conforme pode ser visualizada na Figura 5.22. Ao somar os valores das respostas dos itens "Concorde Totalmente" e "Concorde" de todas as perguntas tem-se valores percentuais acima de 50,0% de concordância, na pergunta P2 chega ao valor de 95,0%. Esse percentual de concordância (pergunta P2), indica que na percepção dos aprendizes o jogo colaborou para aprender o conteúdo de frações.

Ainda sobre os resultados da pergunta P2, 5,0% dos aprendizes ficaram indecisos e não ocorreu nenhum registro de discordância para essa pergunta. Para a pergunta P3 os resultados mostram que 50,0% (Concorde Totalmente + Concorde) dos aprendizes sentiram dificuldade para resolver as operações de frações do jogo, 40,0% ficaram indiferentes e 10,0% (Discordo) dos aprendizes discordam da pergunta P3.

Os resultados da pergunta P4 indicam que 80,0% (Concorde Totalmente + Concorde) dos aprendizes responderam que foi importante receber ajuda da Profª Sol, 10,0% ficaram indecisos e 10,0% (Discordo + Discordo Totalmente) dos aprendizes consideraram que não foi importante receber ajuda durante o jogo. Em relação a pergunta P5, os resultados obtidos indicam que 80,0% (Concorde Totalmente + Concorde) dos aprendizes consideram que a Profª Sol ajudou a resolver as operações de frações, 10,0% ficaram indeciso e 10,0% (Discordo + Discordo Totalmente) discordaram da pergunta P5.

Foi calculado a média geral das respostas dos aprendizes do experimento E2 GE para as perguntas P2, P3, P4 e P5 e o valor obtido foi de 3,9 com desvio padrão de 0,9. O coeficiente α de Cronbach foi calculado para verificar a confiabilidade do questionário, ou seja, avaliar a consistência interna do questionário. Os valores de α variam de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior é a consistência interna dos itens da escala (Gliem e Gliem, 2003; Matthiensen, 2010). De acordo com Gliem e Gliem (2003) não há um limite inferior para o coeficiente. O valor obtido para o coeficiente α de Cronbach foi 0,64, valor este considerado bom, de acordo com valores de referência encontrado na literatura (Freitas e Rodrigues, 2005; Júnior e Costa, 2014).

De modo geral, os resultados obtidos das perguntas (P2-P5) demonstram que os aprendizes do experimento E2 GE em sua maioria, mesmo com sentimento de dificuldade para resolver as operações de frações do jogo, consideram que o jogo contribuiu para aprender frações e que a ajuda apresentada pela Prof^a Sol durante a resolução das operações de frações são importantes. Ou seja, na percepção dos aprendizes o jogo colaborou, foi importante e as intervenções tutoriais específicas apresentadas pela Prof^a Sol os auxiliaram de forma positiva na resolução das operações de frações do jogo.

5.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente serão apresentadas nas discussões dos resultados uma abordagem comparativa com os trabalhos correlatos na literatura, esses obtidos a partir do mapeamento sistemático descrito no Capítulo 3 - Revisão Sistemática. Por fim, ao final do capítulo é apresentada uma análise dos dados dos experimentos realizados com os aprendizes.

5.5.1 Análise Comparativa

Nesta seção será apresentado como o mapeamento sistemático contribui para a resposta das seis questões de pesquisas identificadas para o trabalho.

Para a questão QP01, intervenções tutoriais aplicadas em ambientes virtuais de aprendizagem, a presente tese apresenta uma categorização de intervenções tutoriais organizada em tipos e subtipos. Sendo os tipos identificados como *Scaffolding*, *Feedback* e Dica. Os subtipos podem ser visualizados na Tabela 4.2. Em relação aos trabalhos, relacionados verifica-se que cada trabalho usa um tipo de intervenção diferente e na tese apresentada o modelo propicia a apresentação de mais de um tipo/subtipo de intervenção tutorial. Nos experimentos foram apresentados seis subtipos de intervenções. De todos os trabalhos estudados a partir do mapeamento sistemático não foram encontrados trabalhos que utilizem uma categorização em tipos/subtipos de intervenções. O trabalho que mais se aproxima do que foi apresentado é Grawemeyer et al. (2017), que apresenta *feedback* formativo de acordo com a interação e estado afetivo do aprendiz com o objetivo de reduzir o tédio e obter melhoras na aprendizagem.

Para a questão QP02, o que é considerado para iniciar uma intervenção tutorial, o modelo desenvolvido nesta tese realiza a identificação da ocorrência de erro cometido pelo aprendiz na resolução do exercício, ou seja, verifica se a resposta do aprendiz é a esperada pelo jogo. A partir dessa identificação é realizada ainda uma classificação do erro com base em um classificador de erros matemáticos empregado no MAFint. Os trabalhos de Chao et al. (2012); Cooper et al. (2011); Forbes-Riley e Litman (2011); Grawemeyer et al. (2017); Tiam-Lee e Sumi (2018) do mapeamento sistemática também apresentam intervenções ao detectar resposta incorreta do aprendiz, mas não foi verificado o uso de algum tipo de identificação específica do erro, ou do tipo de erro.

Sobre a questão QP03, quais são as informações usadas para inferir o estado afetivo do aprendiz, esta tese utiliza a expressão facial, pelo fato de ser uma das formas não intrusivas para inferir os estados afetivos. Além disso, as *webcams* são dispositivos passivos de coleta de informações de baixo custo e presente em uma grande quantidade de computadores. Sendo estes portáteis ou não, facilitando com isso a utilização do modelo proposto. No modelo proposto, as emoções inferidas são as emoções básicas do modelo de Ekman (medo, raiva, tristeza, surpresa, aversão, alegria e desprezo), além de um estado neutro. Analisando os trabalhos relacionados verificou-se a utilização de dispositivos e sensores para coleta do aprendiz (Cooper et al., 2011; Pour et al., 2010), que muitas vezes isso pode inviabilizar o projeto prático pelo seu custo e

por ser invasivo ao aprendiz. Com relação às emoções, os trabalhos inferem um conjunto de emoções geralmente ligados ao estado afetivo de confusão ou frustração (D'Mello et al., 2008; Grawemeyer et al., 2017).

Com relação a questão QP04, quais são as técnicas e ferramentas computacionais utilizadas para a inferência dos estados afetivos dos aprendizes, nos trabalhos correlatos verificou-se que as técnicas e ferramentas utilizadas são as mais variadas, dentre elas sensores fisiológicos, questionários, agente animados, métodos de aprendizado de máquina e algoritmos classificadores (Cooper et al., 2011; Pour et al., 2010; Hernández et al., 2007). Nesta tese o modelo de inferência aplicado utiliza a abordagem de representação das emoções em quadrantes. Essa abordagem foi adotada por identificar as emoções de medo, raiva, tristeza, surpresa, aversão, alegria, desprezo e neutro, estas tratadas pelo presente modelo. Foram utilizadas *webcams* para captura da imagem da face do aprendiz e o reconhecimento da expressão facial é realizada pela EmotionAPI.

Sobre a questão QP05, o ambiente virtual de aprendizagem identifica ocorrência de erros do aprendiz, no modelo desenvolvido nesta tese aplica-se um classificador de erros matemáticos para classificar o tipo de erro cometido pelo aprendiz durante a resolução dos exercícios. A partir da identificação do tipo de erro e sua classificação, é possível apresentar uma intervenção tutorial, ou seja, relacionada ao erro cometido pelo aprendiz, com o objetivo de propiciar uma maior motivação de modo que o aprendiz possa aprender com o seu erro.

Com relação as principais contribuições dos trabalhos para a questão QP06, a presente tese apresentou um modelo de intervenção tutorial, por meio de um jogo de frações, no qual o erro cometido pelo aprendiz é identificado e classificado, proporcionando que o aprendiz receba uma intervenção tutorial o qual contribui para que este aprenda com o erro cometido. A cada resposta selecionada pelo aprendiz é realizado a inferência do seu estado afetivo por meio da expressão facial capturada. Essa expressão é armazenada e utilizada para inferir o estado afetivo do aprendiz. Em relação aos trabalhos encontrados na literatura a presente tese permitiu a utilização de um classificador de erros, assim como a identificação do estado afetivo por meio da abordagem e representação em quadrantes.

5.5.2 Análise Experimentos

No experimento E1, foram registrados 1114 ocorrências de respostas dos aprendizes, sendo a expressão facial identificada em 88,5% (986 respostas) das respostas, e em 11,5% (128 respostas) não foi possível realizar o reconhecimento. Das respostas em que a face do aprendiz foi identificada 90,2% (889) foi inferido o estado afetivo neutro (QN), resultado esperado considerando outros trabalhos nessa área (D'Mello et al., 2007; Gottardo e Pimentel, 2018). Em seguida os estados afetivos como engajamento, alegria e motivação (Q1) com 5% (49 ocorrências). Os estados afetivos do Q2, medo, frustração e confusão registraram 3,1% (31) das ocorrências. Os resultados indicam que esses estados afetivos fazem parte das atividades de aprendizagem e podem estar relacionados positivamente com a aprendizagem (Pour et al., 2010; D'Mello et al., 2007).

Quando da apresentação das intervenções tutoriais específicas aos aprendizes, estas propiciaram 20,3% (14) das mudanças de algum quadrante para o quadrante Q1, além de manter esse quadrante seis vezes após a intervenção. Dessas 14 mudanças, 71,4% (10) corresponde ao acerto do exercício que ocorreram quando da mudança de um quadrante para o quadrante Q1.

Por meio do experimento E1 foi possível identificar que das 366 ocorrências de intervenções tutoriais específicas, 45,4% (166) correspondem as intervenções do tipo Dica com o subtipo Informação transmitida, seguida do tipo *Feedback* com os subtipos Explicativo com 26,8% (98), e de meta ou de objetivo com 16,9% (62), para todos os tipos de erros identificados, como sendo as intervenções que mais auxiliaram os aprendizes a resolver as operações de frações

do jogo. Observa-se ainda que as intervenções tutoriais associadas e apresentadas a partir da identificação dos tipos de erros favoreceram uma maior ocorrência de mudança e permanência dos aprendizes de outros quadrantes para o quadrante que infere os estados afetivos alegria, engajamento e motivação. Isso significa que eles podem ser considerados os tipos de intervenções mais indicados para esses tipos e subtipos de erros.

O experimento E2 foi dividido em três etapas nominadas de pré-teste, jogo e pós-teste. Nestas etapas participaram 40 aprendizes que a partir das notas obtidas no pré-teste foram divididos em dois grupos homogêneos, GC e GE, por meio de um processo de amostragem aleatória. As notas do pré-teste e pós-teste foram consideradas para a comparação e análise dos resultados para responder a hipótese: "a média das notas do pós-teste dos aprendizes do GE foi significativamente maior que a média das notas do pós-teste dos aprendizes do GC". Os resultados indicam, com nível de significância de $\alpha=0,05$ em termos da média das notas entre GC e GE, que há evidências para dizer que as intervenções tutoriais específicas apresentadas auxiliaram os aprendizes do GE a obterem um melhor resultado no desempenho.

Na etapa jogo, o experimento registrou 1361 ocorrências de respostas dos aprendizes, sendo a expressão facial identificada em 91,4% (1244) das respostas, e em 8,6% (117) não foi possível realizar o reconhecimento. Das 638 respostas do GC em que a face do aprendiz foi identificada, 94,4% (602) foi inferido estado afetivo neutro (QN). Para o GE o percentual foi um pouco menor, 84,8% (514) para o QN. Assim como no experimento E1, este também apresentou maior número de ocorrências para o quadrante neutro. Em seguida o quadrante Q1 apresenta 2,5% (16) de ocorrências para o GC e 9,7% (59) para o GE. Lembrando que os estados afetivos do Q1 são desejados para melhorar a experiência e favorecer a aprendizagem.

Com relação aos percentuais de acertos o GE obteve 35,5% (77) de acertos e 64,5% (140) de erros, com o uso das intervenções tutoriais específicas. O GC obteve 24,2% (64) de acertos e 75,8% (200) de erros em relação ao total de ocorrências do grupo, com o uso de intervenções mínimas. As intervenções específicas propiciaram aos aprendizes do GE 18 (36,7%) mudanças de estado para o Q1. Dessas 18 mudanças 61,1% (11) correspondem aos acertos e 38,9% (7) aos erros dos exercícios. Para os aprendizes do GC foram apenas cinco (11,4%) mudanças para Q1 a partir das intervenções mínimas. Dessas cinco mudanças 40,0% (2) correspondem aos acertos e 60,0% (3) correspondem aos erros. Entre as intervenções específicas apresentadas ao GE, a do tipo *Dica* foi a que possibilitou mais mudanças para o quadrante Q1, foram 12 mudanças, e o tipo *Feedback* foi que mais manteve o aprendiz no Q1.

Com esses resultados é possível observar que os aprendizes do GE obtiveram um percentual maior de acertos em relação aos aprendizes do GC. Isso é um indicativo que as intervenções apresentadas aos aprendizes do GE ajudaram na resolução das operações de frações do jogo em relação ao GC que recebeu intervenções mínimas. Nesse contexto, os resultados indicam que as intervenções específicas contribuíram para uma maior ocorrência de mudança e permanência dos aprendizes de outros quadrantes para o quadrante Q1. O quadrante Q1, valência e ativação positiva, indica o estado afetivo das emoções positivas do aprendiz, como, alegria, motivação, interesse e engajamento, emoções que favorecem e que têm potencial de impactar o processo de aprendizagem. Os resultados indicam ainda uma melhora no desempenho que pode ser decorrente de um estado motivacional melhor.

Sobre as perguntas apresentados no início do jogo foi identificado que a expectativa com relação ao resultado do jogo indicado pela maior parte dos aprendizes foi de que acertariam todas ou a maioria das perguntas, além de responderam que gostam muito e consideram que é fácil estudar matemática. Estes mesmos aprendizes apresentaram a menor média de erros no jogo de frações.

Ainda sobre a expectativa dos aprendizes com relação ao resultado do jogo verificou-se, a partir das respostas das perguntas do início e fim do jogo, que 36,5% (27 dos 74 aprendizes) dos participantes confirmaram suas expectativas iniciais com relação ao jogo de frações.

Os resultados das perguntas apresentadas no final do jogo, "O Jogo colaborou para você aprender o conteúdo sobre frações?", "Você sentiu dificuldade em resolver as operações do jogo?", "Foi importante receber ajuda da Profª Sol durante o jogo?" e "A Profª Sol ajudou você a resolver as operações?", de modo geral, indicam que na percepção e entendimento dos aprendizes o jogo colaborou para aprender o conteúdo de frações, mesmo sentindo alguma dificuldade, que foi importante receber o auxílio da Profª Sol e que essa ajuda contribuiu para a resolução das operações de frações.

5.6 AMEAÇAS À VALIDADE DOS EXPERIMENTOS

Uma possível limitação do experimento refere-se à generalização dos resultados em razão do número de aprendizes participantes em cada experimento (34 no experimento E1 e 40 no experimento E2). Considera-se que outros experimentos poderiam ser realizados adaptando as intervenções tutoriais para outros conteúdos.

Outro ponto a ser considerado é que uma turma do experimento E1 utilizou fone de ouvido, e outra turma não. Desse modo os aprendizes que não utilizaram fone de ouvido conseguiam ouvir os sons emitidos pelo jogo durante o experimento de todos os computadores do laboratório, fazendo com que em alguns momentos os aprendizes conversassem e se dispersassem um pouco. Isso não ocorreu com os aprendizes que utilizaram fone de ouvido, já que não ouviam o som dos demais computadores, assim foi observando uma redução na conversa entre os aprendizes durante o experimento. Este fato, de não usar fone de ouvido, pode ter em algum momento prejudicado a coleta da imagem da face do aprendiz para a inferência do estado afetivo.

5.7 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo foram apresentados os experimentos realizados com aprendizes do quinto ano do ensino fundamental de duas escolas municipais aplicando um jogo de frações matemáticas. Os experimentos E1 e E2 permitiram a aplicação do modelo de intervenção tutorial desenvolvido nesta pesquisa em um ambiente de ensino real. Os resultados apontam que as intervenções tutoriais específicas apresentadas aos aprendizes a partir da identificação e classificação do tipo e subtipos de erros, ajudaram os aprendizes na resolução das operações do jogo de frações, como também propiciaram um estado afetivo que favorece a aprendizagem.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os recursos tecnológicos estão cada dia mais presentes na vida dos professores/tutores e dos aprendizes, tornando-se necessário a existência de ferramentas que forneçam suporte ao processo de ensino e aprendizagem. Essas ferramentas podem oferecer aos aprendizes uma forma diferenciada de aquisição e construção do conhecimento.

Os STI são softwares educacionais, que por meio da coleta de dados, da observação do comportamento e das ações dos aprendizes realizadas no sistema (dos Santos e Falcão, 2017), podem prover auxílio individualizado, instruções imediatas e adaptadas aos aprendizes. Dessa forma, os STI podem propiciar um aprendizado personalizado para cada aprendiz, oferecendo uma estrutura para as atividades de ensino mais próxima possível de uma sala de aula.

O erro pode revelar quais são as dificuldades do aprendiz em relação ao conteúdo que está sendo trabalhado. Assim, diagnosticar os erros cometidos pelos aprendizes pode ser considerado como uma oportunidade para construção do conhecimento (Peng e Luo, 2009). Esses erros podem servir de base para que os STI realizem adaptações na apresentação de conteúdos, mudança de nível de exercícios e apresentação de intervenções tutoriais personalizadas.

Outro ponto a ser observado com relação ao processo de aprendizagem são os estados afetivos dos aprendizes. Os estados afetivos influenciam diretamente na aprendizagem, motivação e no engajamento do aprendiz, de forma positiva ou negativa (Morais et al., 2017). Inferir os estados afetivos dos aprendizes pode possibilitar a criação de ações com o objetivo de auxiliá-los no desenvolvimento do seu processo de ensino e aprendizagem (Picard, 1997). Uma vez realizada a inferência do estado afetivo, essa informação pode ser utilizada para aprimorar a forma com que as intervenções tutoriais são aplicadas nos ambientes virtuais de aprendizagem.

As intervenções tutoriais podem ser empregadas nos ambientes virtuais de aprendizagem com o objetivo de orientar os aprendizes durante o processo de interação com o sistema, registrar informações necessárias para avaliação do desenvolvimento do aprendiz, de modo a atender aos objetivos e às necessidades dos aprendizes. Outro aspecto a ser analisado é que ao intervir é preciso analisar a forma como será apresentado o conteúdo da intervenção tutorial aos aprendizes (Half, 1988). Desse modo, a intervenção pode ser adequada no sentido de auxiliar o aprendiz a solucionar um exercício, ou ainda oportunizar um momento reflexão em relação ao erro cometido.

Para o desenvolvimento desse trabalho foi criada uma classificação de intervenções tutoriais com base na literatura para ambientes virtuais de aprendizagem, sendo esta uma das contribuições desse trabalho. A realização dessa etapa permitiu visualizar e organizar as intervenções tutoriais a partir de suas características em tipos e subtipos com a indicação do objetivo de cada intervenção, assim como quando de sua aplicação. A apresentação dessa classificação tem como objetivo propiciar auxílio aos especialistas, professores e conteudistas na escolha das intervenções tutoriais a serem aplicadas em um ambientes virtuais de aprendizagem.

A classificação de intervenções tutoriais juntamente com a classificação de erros matemáticos de Leite et al. (2012) e a abordagem de representação das emoções em quadrantes de Gottardo e Pimentel (2018) compõem o MAFint. O modelo afetivo de intervenções tutoriais que permite a apresentação automática de intervenções tutoriais a partir da identificação do tipo de erro cometido pelo aprendiz. O objetivo do MAFint é oferecer uma estratégia customizada de acordo com o erro visando manter o aprendiz motivado e com um melhor desempenho.

Com a finalidade de validar o modelo desenvolvido durante esta pesquisa foram realizados três experimentos utilizando um jogo de frações matemáticas em ambiente real de

aprendizagem. No total participaram 74 aprendizes do quinto ano do ensino fundamental de duas escolas da rede municipal de Pato Branco.

O experimento Piloto permitiu simular a aplicação do experimento, ou seja, testar o jogo de frações e todo o arcabouço. Dessa forma foi possível analisar os resultados e realizar as adequações no jogo e na interface.

O experimento E1 identificou as intervenções tutoriais específicas do tipo Dica com o subtipo Informação transmitida e o tipo *Feedback* com o subtipo Explicativo e de meta ou de objetivo, para todos os tipos de erros identificados, como sendo as intervenções que mais auxiliaram os aprendizes a resolver as operações de frações do jogo. Além de favorecerem uma maior ocorrência de mudança de estados afetivos para o quadrante Q1 (alegria, engajamento e motivação).

No experimento E2 os aprendizes foram divididos em dois grupos homogêneos, e os resultados obtidos com o pré-teste e pós-teste indicam que o GE obteve um desempenho melhor que o GC, com grau de confiança de 95%. Além disso, no jogo os aprendizes do GE apresentaram um percentual maior de acertos e de mudanças de quadrantes para o quadrante Q1. Essas informações sinalizam que as intervenções específicas apresentadas ao GE ajudaram os aprendizes a manterem-se mais motivados e engajados que os aprendizes do GC que receberam intervenções mínimas.

Outra informação que demonstra que as intervenções tutoriais auxiliaram e foram importantes durante a resolução das operações, foi a percepção apresentada pelos aprendizes ao responder algumas perguntas ao final do jogo. Os resultados indicaram que no entendimento dos aprendizes o jogo colaborou para aprender o conteúdo sobre frações, que foi importante receber ajuda do avatar chamado da Profª Sol e que esse auxílio contribuiu para a resolução das operações de frações do jogo.

Estes resultados podem ser utilizados para implementação de funcionalidades específicas em ambientes virtuais de aprendizagem para melhorar a experiência de aprendizagem, aumentar o engajamento e motivação. Buscando assim, impactar positivamente o desempenho dos aprendizes.

Uma das principais contribuições desta tese é a definição de um modelo afetivo de intervenções tutoriais que identifica e classifica os erros dos aprendizes na área da matemática. E a partir dessa classificação, apresentar intervenções tutoriais que auxiliam os aprendizes na resolução correta da atividade, de modo que se promova um estado afetivo mais positivo e favorável ao aprendiz.

Outra contribuição é a apresentação de uma classificação dos diferentes tipos de intervenções tutoriais utilizados por STI que podem ser adaptados para o contexto dos objetos de aprendizagem, softwares educacionais, STI ou AVA. Além disso, a correlação entre os tipos de erros, com os tipos de intervenções e os estados afetivos obtidos por meio dos experimentos realizados com os aprendizes é outra contribuição apresentada por esta tese.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Esses resultados, mesmo considerando a limitação no número de aprendizes participantes, poderiam ser utilizados para a definição e implementação de intervenções tutoriais em STI. Isso se dá a partir da consideração do erro cometido pelo aprendiz como algo natural, como suporte ao processo de aprendizagem, pois permite ao aprendiz realizar uma análise da situação e ao mesmo tempo uma revisão de conceitos e conteúdos. Uma recomendação para trabalhos futuros é o mapeamento de eventos do jogo de frações para possibilitar a inferência dos estados

afetivos cognitivos do aprendiz. Dessa forma, além da inferência das emoções físicas por meio da expressão facial, seria realizada também a inferência cognitiva.

Observando ainda que as intervenções específicas ajudaram a melhorar os resultados dos aprendizes, outra indicação para trabalhos futuros é agregar ao modelo apresentado que o estado afetivo inferido pela representação de quadrantes fosse considerada para a indicação da intervenção tutorial, ou seja, a intervenção seria apresentada com base no tipo e subtipo de erro e também no estado afetivo do aprendiz.

Futuras pesquisas podem ainda implementar no modelo um agente pedagógico inteligente para a apresentação das intervenções tutoriais. O agente pedagógico pode ainda apresentar reações afetivas de acordo com as emoções inferidas dos aprendizes, ou seja, oferecendo um apoio afetivo durante o processo de aprendizagem baseado nos estados afetivos dos aprendizes.

A aprendizagem de máquina é outra possibilidade para trabalhos futuros do modelo apresentado. Aplicar a aprendizagem de máquina para análise dos dados, para verificar e fazer as correlações entre tipo e subtipos de erros com os estados afetivos dos aprendizes, de modo a apresentar as intervenções tutoriais que mais possam auxiliar os aprendizes a obter um bom desempenho e ao mesmo tempo que os mantêm em um estado afetivo favorável a aprendizagem.

6.2 PUBLICAÇÕES

Nesta seção, são apresentadas as referências para dois artigos que foram publicados durante o desenvolvimento dessa tese de doutorado. Os trabalhos apresentam os principais resultados dos experimentos E1 e E2 que foram realizados em um ambiente real de ensino. Estes foram apresentados no XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), evento que fez parte do 9º Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE).

ASCARI, Soelaine R.; GOTTARDO, Ernani; PIMENTEL, Andrey R. Identificação de Intervenções Tutoriais para Ambientes Virtuais de Aprendizagem. *Brazilian Symposium on Computers in Education (XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, 2020, páginas 842–851, Porto Alegre, RS, Brasil.

ASCARI, Soelaine R.; GOTTARDO, Ernani; PIMENTEL, Andrey R. MAfint: modelo afetivo de intervenção tutorial para Ambientes de Virtuais de Aprendizagem. *Brazilian Symposium on Computers in Education (XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, 2020, páginas 832–841, Porto Alegre, RS, Brasil.

REFERÊNCIAS

- Anderson, J. R., Boyle, C. F. e Yost, G. (1985). The geometry tutor. Em *Proceedings of the 9th international joint conference on Artificial intelligence*, páginas 1–7. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Anderson, J. R. e Reiser, B. J. (1985). The lisp tutor: it approaches the effectiveness of a human tutor. *Byte*, 10(4):159–175.
- Angel, S. O., Negrón, A. P. P. e Valdez, A. E. (2020). From a conceptual to a computational model of cognitive emotional process for engineering students. Em *Trends and Applications in Software Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*, volume 1071, páginas 173–186, Cham. Springer International Publishing.
- Anohina, A. (2007). Advances in intelligent tutoring systems: problem-solving modes and model of hints. *International Journal of Computers Communications & Control*, 2(1):48–55.
- Arbizu, F., Lobato, C. e Del Castillo, L. (2005). Algunos modelos de abordaje de la tutoría universitaria. *Revista de psicodidáctica*, 10(1).
- Arguedas, M., Xhafa, F., Casillas, L., Daradoumis, T., Peña, A. e Caballé, S. (2018). A model for providing emotion awareness and feedback using fuzzy logic in online learning. *Soft Computing*, 22(3):963–977.
- Arnold, M. B. (1960). *Emotion and personality*. Columbia University Press.
- Athanasiadis, C., Hortal, E., Koutsoukos, D., Lens, C. Z. e Asteriadis, S. (2017). Personalized, affect and performance-driven computer-based learning. Em *CSEDU (1)*, páginas 132–139.
- Ayadi, M. E., Kamel, M. S. e Karray, F. (2011). Survey on speech emotion recognition: Features, classification schemes, and databases. *Pattern Recognition*, 44(3):572–587.
- Baranauskas, M. C. C., Vieira, H., Martins, R. M. C. e D'ABREU, J. V. (1999). Uma taxonomia para ambientes de aprendizado baseados no computador. *O computador na sociedade do conhecimento*, página 45.
- Bercht, M. (2001). *Em Direção a Agentes Pedagógicos com Dimensões Afetivas*. Instituto de Informática. UFRGS. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.
- Borasi, R. (1987). Exploring mathematics through the analysis of errors. *For the learning of Mathematics*, 7(3):2–8.
- Brandalise, M. T. (2019). Tecnologias de informação e comunicação nas escolas públicas paranaenses: Avaliação de uma política educacional em ação. *Educação em Revista*, 35:1–28.
- Brown, J. S. e Burton, R. R. (1978). A paradigmatic example of an artificially intelligent instructional system. *International Journal of Man-Machine Studies*, 10(3):323–339.
- Brown, J. S., Burton, R. R. e Bell, A. G. (1975). SOPHIE: A step toward creating a reactive learning environment. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(5):675–696.

- Burns, H. L. e Capps, C. G. (2013). Foundations of intelligent tutoring systems: An introduction. *Foundations of intelligent tutoring systems*, página 1.
- Calvo, R. A. e D'Mello, S. (2010). Affect detection: An interdisciplinary review of models, methods, and their applications. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 1(1):18–37.
- Carbonell, J. (1970). AI in CAI: An artificial-intelligence approach to computer-assisted instruction. *IEEE Transactions on Man Machine Systems*, 11(4):190–202.
- Chabot, D. e Chabot, M. (2005). *Pedagogia Emocional: sentir para aprender*. Sá Editora.
- Chao, C.-J., Lin, H.-C. K., Lin, J.-W. e Tseng, Y.-C. (2012). An affective learning interface with an interactive animated agent. Em *2012 IEEE Fourth International Conference On Digital Game And Intelligent Toy Enhanced Learning*. IEEE.
- Clancey, W. J. (1987). *Knowledge-based Tutoring: The GUIDON Program*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Clore, G. L. e Ortony, A. (2000). Cognition in emotion: Always, sometimes, or never. *Cognitive Neuroscience of Emotion*, páginas 24–61.
- Cooper, D. G., Arroyo, I. e Woolf, B. P. (2011). Actionable affective processing for automatic tutor interventions. Em *New Perspectives on Affect and Learning Technologies*, páginas 127–140. Springer New York.
- Craig, S., Graesser, A., Sullins, J. e Gholson, B. (2004). Affect and learning: An exploratory look into the role of affect in learning with AutoTutor. *Journal of Educational Media*, 29(3):241–250.
- Crispim, A. C., Cruz, R. M., Oliveira, C. M. e Archer, A. B. (2017). O afeto sob a perspectiva do circunplexo: evidências de validade de construto. *Revista Avaliação Psicológica*, 16(2):145–152.
- da Cunha, F. O. e da Silva, J. M. C. (2009). Análise das dimensões afetivas do tutor em turmas de ead no ambiente virtual moodle. Em *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 1.
- Damásio, A. R. (2012). *O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano*. Editora Companhia das Letras.
- de Almeida, M. E. B. (2003). Educação a distância na internet: abordagens e contribuições dos ambientes digitais de aprendizagem. *Educação e pesquisa*, 29(2):327–340.
- de Faria, E. V. (2010). O tutor na educação a distância: A construção de conhecimentos pela interação nos ambientes midiáticos no contexto da educação libertadora. *Scientia FAER, Olímpia-SP, Ano*, 2:28–37.
- Dempsey, J. V. (1993). *Interactive instruction and feedback*. Educational Technology.
- D'Mello, S., Picard, R. W. e Graesser, A. (2007). Toward an affect-sensitive autotutor. *IEEE Intelligent Systems*, 22(4):53–61.
- Donato, G., Bartlett, M., Hager, J., Ekman, P. e Sejnowski, T. (1999). Classifying facial actions. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21(10):974–989.

- dos Santos, D. C. V.-B. e Falcão, T. P. (2017). Acompanhamento de alunos em ambientes virtuais de aprendizagem baseado em sistemas tutores inteligentes. Em *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 28, páginas 1267–1276.
- Dosciatti, M. M. (2015). *Um Método para a Identificação de Emoções Básicas em Textos em Português do Brasil Usando Máquinas de Vetores de Suporte em Solução Multiclasse*. Tese de doutorado, PUCPR - Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- D'Mello, S. (2012). Monitoring affective trajectories during complex learning. Em *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, páginas 2325–2328. Springer.
- D'Mello, S., Jackson, T., Craig, S., Morgan, B., Chip-Man, P., White, H., Person, N., Kort, B., Kaliouby, R. E., Picard, R. e Graesser, A. (2008). Autotutor detects and responds to learners affective and cognitive states. *Workshop on Emotional and Cognitive Issues at the Int. Conf. Intelligent Tutoring Systems. Montreal, Canada*, páginas 306–308.
- Economides, A. A. (2005). Adaptive feedback evaluation. Em *Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Distance Learning and Web Engineering*.
- Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition and Emotion*, 6(3-4):169–200.
- Ekman, P. (1999). Facial expressions. *Handbook of cognition and emotion*, 16(301):e320.
- Ekman, P. e Friesen, W. V. (2003). *Unmasking the Face: A Guide to Recognizing Emotions From Facial Expressions*. Malor Books.
- Feidakis, M., Daradoumis, T. e Caballé, S. (2012). A multi-fold time approach to address emotions in live and virtualized collaborative learning. Em *Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS), 2012 Sixth International Conference on*, páginas 881–886. IEEE.
- Fiori, C. e Zuccheri, L. (2005). An experimental research on error patterns in written subtraction. *Educational Studies in Mathematics*, 60(3):323–331.
- Fleming, M. L. e Levi, W. H. (1993). *Instructional message design: Principles from the behavioral and cognitive sciences*. Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, NJ.
- Fonseca, V. d. (2016). Importância das emoções na aprendizagem: uma abordagem neuropsicopedagógica. *Revista Psicopedagogia*, 33:365 – 384.
- Forbes-Riley, K. e Litman, D. (2011). Benefits and challenges of real-time uncertainty detection and adaptation in a spoken dialogue computer tutor. *Speech Commun.*, 53(9):1115–1136. Sensing Emotion and Affect - Facing Realism in Speech Processing.
- Fowler, D. G. (1991). A model for designing intelligent tutoring systems. *Journal of medical systems*, 15(1):47–63.
- Freitas, A. L. P. e Rodrigues, S. G. (2005). A avaliação da confiabilidade de questionários: uma análise utilizando o coeficiente alfa de cronbach. *Xii Simpep*, páginas 1–15.
- Frijda, N. H. (1986). *The emotions: Studies in emotion and social interaction*.

- Frozza, R., da Silva, A. A. K., Schreiber, J. N. C., Lux, B., Molz, K. W., Kipper, L. M., Borin, M. P., de Carvalho, A. B., Baierle, J. L. e Sampaio, L. (2011). Agentes pedagógicos emocionais atuando em um ambiente virtual de aprendizagem. *RENOTE: revista novas tecnologias na educação*, 9(1).
- Garcia-Aretio, L. (1999). Pasado y presente de la acción tutorial en la uned. páginas 19–54.
- Gliem, J. A. e Gliem, R. R. (2003). Calculating, interpreting, and reporting cronbach's alpha reliability coefficient for likert-type scales. páginas 82–88, Columbus, Ohio : Ohio State University. Midwest Research-to-Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education.
- Gottardo, E. e Pimentel, A. (2018). Reconhecimento e adaptação à dinâmica de estados afetivos relacionados à aprendizagem. Em *Anais do XXIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2018)*, volume 29, páginas 1223–1232. Brazilian Computer Society (Sociedade Brasileira de Computação - SBC).
- Grafsgaard, J. F., Wiggins, J. B., Boyer, K. E., Wiebe, E. N. e Lester, J. C. (2013). Automatically recognizing facial indicators of frustration: A learning-centric analysis. Em *2013 Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction*, páginas 159–165.
- Grawemeyer, B., Mavrikis, M., Holmes, W., Gutiérrez-Santos, S., Wiedmann, M. e Rummel, N. (2017). Affective learning: improving engagement and enhancing learning with affect-aware feedback. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 27(1):119–158.
- Half, H. M. (1988). Curriculum and instruction in automated tutors. *Foundations of intelligent tutoring systems*, páginas 79–108.
- Hannafin, M., Land, S. e Oliver, K. (1999). Open learning environments: Foundations, methods, and models. *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory*, 2:115–140.
- Hasegawa, R. (1995). *TOOTEMA: uma ferramenta para a construção de sistemas tutores inteligentes em matemática*. Tese de doutorado.
- Hattie, J. e Gan, M. (2011). Instruction based on feedback. *Handbook of research on learning and instruction*, páginas 249–271.
- Hernández, Y., Arroyo, G. e Sucar, L. E. (2009). Obtaining teachers' expertise to refine an affective model in an intelligent tutor for learning robotics. Em *2009 Eighth Mexican International Conference on Artificial Intelligence*. IEEE.
- Hernández, Y., Arroyo-Figueroa, G. e Sucar, L. E. (2007). Intelligent tutoring system with affective behavior. Em *2007 Sixth Mexican International Conference on Artificial Intelligence, Special Session (MICA)*. IEEE.
- Hernández, Y., Arroyo-Figueroa, G. e Sucar, L. E. (2008). Evaluating a probabilistic model for affective behavior in an intelligent tutoring system. Em *2008 Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. IEEE.
- Hernández, Y., Noguez, J., Sucar, E. e Arroyo-Figueroa, G. (2006). Incorporating an affective model to an intelligent tutor for mobile robotics. Em *Proceedings. Frontiers in Education. 36th Annual Conference*. IEEE.

- Hjert-Bernardi, K., Melero, J. e Hern'andez-Leo, D. (2012). Comparing the effects on students' behavior of two hint techniques embedded in a digital game-based learning tool. Em *2012 IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies*, páginas 138–140.
- Hume, G., Michael, J., Rovick, A. e Evens, M. (1996). Hinting as a tactic in one-on-one tutoring. *Journal of the Learning Sciences*, 5(1):23–47.
- Iepsen, E. F., Bercht, M. e Reategui, E. B. (2013). Avaliando a dimensão afetiva para apoio ao processo de aprendizagem na disciplina de algoritmos: um estudo de caso/evaluating the affective dimension to support the learning process in the discipline of algorithms: a case study. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa-RELATEC*, 12(2):55–66.
- Isard, C. E. (1972). *Patterns of emotions: A new analysis of anxiety and depression*. Academic Press.
- James, I. e Okpala, C. O. (2010). The use of metacognitive scaffolding to improve college students' academic success. *Journal of College Teaching & Learning*, 7(11):47–50.
- Jaques, P. A. (2004). *Using an animated pedagogical agent to interact affectively with the student*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.
- Jaques, P. A. (2008). Avaliando um modelo afetivo de aluno baseado em uma abordagem cognitiva. Em *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 1, páginas 155–165.
- Jaques, P. A. e Nunes, M. A. S. (2013). Ambientes inteligentes de aprendizagem que inferem, expressam e possuem emoções e personalidade. *Jornada de Atualização em Informática na Educação*, 1(1):30–81.
- Jaques, P. A. e Vicari, R. M. (2005). Estado da arte em ambientes inteligentes de aprendizagem que consideram a afetividade do aluno. *Revista informática na educação: teoria & prática*, 8(1):15–38.
- Jaques, P. A. e Vicari, R. M. (2007). A BDI approach to infer student's emotions in an intelligent learning environment. *Computers & Education*, 49(2):360–384.
- Jumaat, N. F. e Tasir, Z. (2014). Instructional scaffolding in online learning environment: A meta-analysis. Em *2014 International Conference on Teaching and Learning in Computing and Engineering*, páginas 74–77. IEEE.
- Júnior, S. D. d. S. e Costa, F. J. (2014). Mensuração e escalas de verificação: uma análise comparativa das escalas de likert e phrase completion. *PMKT-Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia*, 15(1-16):61.
- Júnior, C. P., Dantas, A., Abreu, A., Reis, M., Melo, S., Nascimento, M., Dorça, F. e Fernandes, M. (2019). Personalização das interações de um agente conversacional utilizando emoções e perfis de personalidade. *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, 30(1):1092.
- Kaminska, D., Sapinski, T. e Pelikant, A. (2013). Recognition of emotional states in natural speech. Em *2013 Signal Processing Symposium (SPS)*. IEEE.

- Karkalas, S. e Gutiérrez-Santos, S. (2014). Enhanced javascript learning using code quality tools and a rule-based system in the flip exploratory learning environment. Em *2014 IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies*, páginas 84–88.
- Kort, B., Reilly, R. e Picard, R. W. (2001). An affective model of interplay between emotions and learning: Reengineering educational pedagogy-building a learning companion. Em *Advanced Learning Technologies, 2001. Proceedings. IEEE International Conference on*, páginas 43–46. IEEE.
- Lane, H. C. (2006). Intelligent tutoring systems: Prospects for guided practice and efficient learning. *Army Science of Learning Workshop*, páginas 277–288.
- Le, N.-T. (2016). A classification of adaptive feedback in educational systems for programming. *Systems*, 4(2):22.
- Leite, M. D., Pimentel, A. R. e Pietruchinski, M. H. (2012). Remediação de erros baseada em múltiplas representações externas e classificação de erros aplicada a objetos de aprendizagem inteligentes. Em *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 23, páginas 1–10. Anais do 23º Simpósio Brasileiro de Informática na Educação.
- Libralon, G. L. (2014). *Modelagem computacional para reconhecimento de emoções baseada na análise facial*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.
- Longhi, M. T., Behar, P. A. e Bercht, M. (2008). O desafio de reconhecer a dimensão afetiva em ambientes virtuais de aprendizagem. Em *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, volume 1, páginas 471–480.
- Longhi, M. T., Bercht, M. e Behar, P. A. (2007a). Reconhecimento de estados afetivos do aluno em ambientes virtuais de aprendizagem. *RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação - Porto Alegre, RS*.
- Longhi, M. T., Reategui, E., Bercht, M. e Behar, P. A. (2007b). Um estudo sobre os fenômenos afetivos e cognitivos em interfaces para softwares educativos. *RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação - Porto Alegre, RS*, 5(1).
- Mao, X. e Li, Z. (2009). Implementing emotion-based user-aware e-learning. Em *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '09, páginas 3787–3792, New York, NY, USA. ACM.
- Marczal, D. (2014). *FARMA: Uma ferramenta de autoria para objetos de aprendizagem de conceitos matemáticos*. Tese de doutorado, UFPR - Universidade Federal do Paraná, Curitiba - Brasil.
- Marczal, D., Direne, A., Pimentel, A. e Krynski, E. M. (2015). FARMA: Uma ferramenta de autoria para objetos de aprendizagem de conceitos matemáticos. Em *Anais dos Workshops do IV Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2015)*, volume 4, páginas 23–32. Sociedade Brasileira de Computação - SBC.
- Matsumoto, D. e Ekman, P. (2004). The relationship among expressions, labels, and descriptions of contempt. *Journal of Personality and Social Psychology*, 87(4):529–540.

- Matthiensen, A. (2010). Uso do coeficiente alfa de cronbach em avaliações por questionários. *Embrapa Roraima-Documentos (INFOTECA-E)*.
- McKendree, J. (1990). Effective feedback content for tutoring complex skills. *Human-Computer Interaction*, 5(4):381–413.
- McLoughlin, C. (2004). Achieving excellence in teaching through scaffolding learner competence. *Seeking Educational Excellence*, páginas 9–10.
- Merino, P. J. M., Kloos, C. D., Munoz-Organero, M. e Naranjo, J. F. (2008). Design and data analysis of exercises with hints. Em *2008 38th Annual Frontiers in Education Conference*, páginas F2B–15–F2B–20.
- Mitrovic, A., Williamson, C., Bebbington, A., Mathews, M., Suraweera, P., Martin, B., Thomson, D. e Holland, J. (2011). Thermo-tutor: An intelligent tutoring system for thermodynamics. Em *2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, páginas 378–385.
- Morais, F., Silva, J. D., Reis, H., Isotani, S. e Jaques, P. (2017). Computação afetiva aplicada à educação: uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no brasil. Em *Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2017)*, volume 28, páginas 163–172. Brazilian Computer Society (Sociedade Brasileira de Computação - SBC).
- Movshovitz-Hadar, N., Zaslavsky, O. e Inbar, S. (1987). An empirical classification model for errors in high school mathematics. *Journal for research in mathematics Education*, 18(1):3–14.
- Munzlinger, E., Narcizo, F. B. e de Queiroz, J. E. R. (2012). Sistematização de revisões bibliográficas em pesquisas da área de ihc. Em *Companion Proceedings of the 11th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, páginas 51–54. Brazilian Computer Society.
- Narciss, S. (2013). Designing and evaluating tutoring feedback strategies for digital learning environments on the basis of the interactive tutoring feedback model. *Digital Education Review*, 23:7–26.
- Niese, R., Al-Hamadi, A., Heuer, M., Michaelis, B. e Matuszewski, B. (2011). Machine vision based recognition of emotions using the circumplex model of affect. Em *2011 International Conference on Multimedia Technology*. IEEE.
- Nunes, M., Bezerra, J. S., Reinert, D., Moraes, D., Silva, E. e Pereira, A. J. (2010). Computação afetiva e sua influência na personalização de ambientes educacionais: gerando equipes compatíveis para uso em avas na ead. *Educação E Ciberespaço: Estudos, Propostas E Desafios*. Aracaju: Virtus Editora, 1:308–347.
- Nwana, H. S. (1990). Intelligent tutoring systems: an overview. *Artificial Intelligence Review*, 4(4):251–277.
- Oliveira, E. D. e Jaques, P. A. (2008). Inferindo as emoções do usuário pela face através de um sistema psicológico de codificação facial. Em *Proceedings of the VIII Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, páginas 156–165. Sociedade Brasileira de Computação.
- Oliveira, E. D. e Jaques, P. A. (2013). Classificação de emoções básicas através de imagens capturadas por webcam. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, 5(2).

- Ortony, A., Clore, G. L. e Collins, A. (1988). *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press.
- Paiva, A. (2000). Affective interactions: toward a new generation of computer interfaces? Em *Affective interactions*, páginas 1–8. Springer.
- Palacios, R. (2006). La tutoría: una perspectiva desde comunicación y educación. *Consultado el*, 29(11):2010.
- Panksepp, J. (1982). Toward a general psychobiological theory of emotions. *Behavioral and Brain Sciences*, 5(03):407.
- Pekrun, R. (2011). Emotions as drivers of learning and cognitive development. Em *New Perspectives on Affect and Learning Technologies*, páginas 23–39. Springer New York.
- Pekrun, R. (2014). Emotions and learning. *Educational practices series*, 24:1–31.
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W. e Perry, R. P. (2002). Positive emotions in education. Em Frydenberg, E., editor, *Beyond coping: Meeting goals, visions, and challenges*, páginas 149–173, Oxford. Oxford University Press.
- Peng, A. e Luo, Z. (2009). A framework for examining mathematics teacher knowledge as used in error analysis. *For the learning of mathematics*, 29(3):22–25.
- Petersen, K., Vakkalanka, S. e Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64:1–18.
- Picard, R. (1997). *Affective computing*. Cambridge: MIT Press.
- Picard, R. W. (1995). Affective computing-mit media laboratory perceptual computing section technical report no. 321. *Cambridge, MA*, 2139.
- Picard, R. W., Papert, S., Bender, W., Blumberg, B., Breazeal, C., Cavallo, D., Machover, T., Resnick, M., Roy, D. e Strohecker, C. (2004). Affective learning—a manifesto. *BT technology journal*, 22(4):253–269.
- Plutchik, R. e Kellerman, H. (1980). *Emotion: theory, research and experience*, volume 1. Academic Press, INC. (LONDON) LTD.
- Posner, J., Russell, J. A. e Bradley S. Peterson (2005). The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Development and Psychopathology*, 17(03).
- Pour, P. A., Hussain, M. S., AlZoubi, O., D’Mello, S. e Calvo, R. A. (2010). The impact of system feedback on learners’ affective and physiological states. Em *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, páginas 264–273. Springer.
- Radatz, H. (1979). Error analysis in mathematics education. *Journal for Research in mathematics Education*, 10(3):163–172.
- Radatz, H. (1980). Students’ errors in the mathematical learning process: a survey. *For the learning of Mathematics*, 1(1):16–20.

- Ramos, G. S. (2010). Detecção e remediação de erros na generalização de conceitos matemáticos por meio de sistemas tutores inteligentes. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR.
- Rêgo, M. (2010). *Tutoria e formação humana no ensino superior a distância*. 157 f. Tese de doutorado, Tese (Doutorado em Educação), UERJ, Rio de Janeiro.
- Reis, H. M., Jaques, P. A. e Isotani, S. (2018). Sistemas tutores inteligentes que detectam as emoções dos estudantes: um mapeamento sistemático. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 26(3):76.
- Rickel, J. (1989). Intelligent computer-aided instruction: a survey organized around system components. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 19(1):40–57.
- Rodriguez, P., Ortigosa, A. e Carro, R. M. (2012). Extracting emotions from texts in e-learning environments. Em *Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS), 2012 Sixth International Conference on*, páginas 887–892. IEEE.
- Roseman, I. J., Spindel, M. S. e Jose, P. E. (1990). Appraisals of emotion-eliciting events: Testing a theory of discrete emotions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 59(5):899–915.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6):1161–1178.
- Sandanayake, T. e Madurapperuma, A. (2013). Affective e-learning model for recognising learner emotions in online learning environment. Em *Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer), 2013 International Conference on*, páginas 266–271. IEEE.
- Santos, F. D., Bercht, M. e Wives, L. K. (2014). Disposição afetiva do aluno em interação em um ambientes virtuais de ensino e aprendizagem. Em *XIX Conferência Internacional sobre Informática na Educação*.
- Sayette, M. A., Cohn, J. F., Wertz, J. M., Perrott, M. A. e Parrott, D. J. (2001). A psychometric evaluation of the facial action coding system for assessing spontaneous expression. *Journal of Nonverbal Behavior*, 25(3):167–185.
- Scherer, K. R. (1988). Criteria for emotion-antecedent appraisal: A review. Em *Cognitive perspectives on emotion and motivation*, páginas 89–126. Springer.
- Scherer, K. R. (2005). What are emotions? and how can they be measured? *Social science information*, 44(4):695–729.
- Scherer, K. R., Schorr, A. e Johnstone, T. (2001). *Appraisal Processes in Emotion: Theory, Methods, Research*. Oxford University Press.
- Schuartz, Antonio Sandro e Sarmiento, H. B. d. M. (2020). Tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) e processo de ensino. *Revista Katálysis*, 23:429 – 438.
- Schuhmacher, V. R. N., Schuhmacher, E., Oliveira, L. R. M. e Coutinho, C. P. (2016). A percepção do professor sobre suas competências em tecnologias da informação e comunicação. *RENOTE*, 14(1):1–10.

- Seffrin, H. M., Rubi, G. e Jaques, P. (2013). Uma rede bayesiana aplicada à modelagem do conhecimento algébrico do aprendiz. *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, 24(1):597–606.
- Shen, L., León, E., Callaghan, V. e Shen, R. (2007). Exploratory research on an affective e-learning model.
- Shen, L., Wang, M. e Shen, R. (2009). Affective e-learning: Using "emotional" data to improve learning in pervasive learning environment. *Journal of Educational Technology & Society*, 12(2):176–189.
- Sheng, Z., Zhu-ying, L. e Wan-xin, D. (2010). The model of e-learning based on affective computing. Em *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*. IEEE.
- Shojaeilangari, S., Yau, W.-Y., Nandakumar, K., Li, J. e Teoh, E. K. (2015). Robust representation and recognition of facial emotions using extreme sparse learning. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(7):2140–2152.
- Shun, M. C. Y., Yan, M. C., Bo, A. e Cyril, L. (2015). Modeling learner's emotions with pad. Em *2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies*, páginas 49–51.
- Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research*, 78(1):153–189.
- Smith, C. A. e Lazarus, R. S. (1993). Appraisal components, core relational themes, and the emotions. *Cognition & Emotion*, 7(3-4):233–269.
- Tiam-Lee, T. J. e Sumi, K. (2018). Adaptive feedback based on student emotion in a system for programming practice. Em *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, páginas 243–255. Springer International Publishing.
- Tiantong, M. e Teemuangsai, S. (2013). The four scaffolding modules for collaborative problem-based learning through the computer network on moodle LMS for the computer programming course. *International Education Studies*, 6(5).
- Tomkins, S. S. (1984). Affect theory. *Approaches to emotion*. Psychology Press. Hillsdale, New Jersey, 163:163–195.
- Valente, J. A. (2019). Tecnologias e educação a distância no ensino superior: Uso de metodologias ativas na graduação. *Trabalho amp; Educação*, 28(1):97–113.
- Valstar, M. F. (2008). *Timing is everything: A spatio-temporal approach to the analysis of facial actions*. Tese de doutorado.
- van de Pol, J., Volman, M. e Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher–student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22(3):271–296.
- Vanlehn, K. (2006). The behavior of tutoring systems. *International journal of artificial intelligence in education*, 16(3):227–265.
- Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. *Addition and subtraction: A cognitive perspective*, páginas 39–59.

- Viccari, R. M. (1996). Sistemas tutores inteligentes: abordagem tradicional x abordagem de agentes. *Porto Alegre: UFRGS*.
- Watson, D., Wiese, D., Vaidya, J. e Tellegen, A. (1999). The two general activation systems of affect: Structural findings, evolutionary considerations, and psychobiological evidence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(5):820–838.
- Willits, F. K., Theodori, G. L. e Luloff, A. (2016). Another look at likert scales. *JRSS*, 31:126–139.
- Wood, D., Bruner, J. S. e Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2):89–100.
- Yin, G.-M. e Guo, G.-X. (2010). An affective recognition-based architecture for intelligent learning environments. Em *Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference on*, volume 5, páginas V5–237. IEEE.
- Yun-Jo, A. (2010). Scaffolding wiki-based, ill-structured problem solving in an online environment. *Journal of Online Learning and Teaching*, 6(4):723.
- Zhou, Y., Freedman, R., Glass, M., Michael, J. A., Rovick, A. A. e Evens, M. W. (1999). Delivering hints in a dialogue-based intelligent tutoring system. Em *AAAI/IAAI*, páginas 128–134.

APÊNDICE A – LISTA DE EXERCÍCIOS - PRÉ-TESTE

Este apêndice apresenta a lista de exercícios impressa aplicada no pré-teste como sendo a primeira etapa do experimento E2 grupos GC e GE. A lista é composta por operações de frações e foram resolvidos pelos aprendizes da Escola Municipal Rocha Pombo - Pato Branco - PR.



Nome: _____

Professora: _____ Data: ____/____/____

Exercícios sobre frações

1) Resolva as operações abaixo:

a) $\frac{3}{5} + \frac{1}{5} = \text{—}$

b) $\frac{6}{3} + \frac{7}{3} = \text{—}$

c) $\frac{2}{3} + \frac{4}{2} = \text{—}$

d) $\frac{1}{6} + \frac{2}{3} = \text{—}$

e) $\frac{8}{14} - \frac{3}{14} = \text{—}$

f) $\frac{9}{2} - \frac{3}{6} = \text{—}$

g) $\frac{5}{6} - \frac{2}{3} = \text{—}$

h) $\frac{4}{6} \times \frac{5}{6} = \text{—}$

i) $\frac{3}{5} \times \frac{4}{10} = \text{—}$

j) $\frac{4}{6} \times \frac{13}{8} = \text{—}$

k) $\frac{3}{6} \div \frac{6}{4} = \text{—}$

l) $\frac{6}{7} \div \frac{3}{4} = \text{—}$

m) $\frac{15}{9} \div \frac{2}{3} = \text{—}$

n) $\frac{2}{8} + \frac{1}{8} + \frac{4}{8} = \text{—}$

o) $\frac{2}{3} + \frac{4}{6} + \frac{5}{12} = \text{—}$

APÊNDICE B – LISTA DE EXERCÍCIOS - PÓS-TESTE

Este apêndice apresenta a lista de exercícios impressa aplicada no pós-teste como sendo a terceira etapa do experimento E2 grupos GC e GE. A lista é composta por operações de frações e foram resolvidos pelos aprendizes da Escola Municipal Rocha Pombo - Pato Branco - PR.



Nome: _____

Professora: _____ Data: ____/____/____

Exercícios sobre frações

1) Resolva as operações abaixo:

a) $\frac{4}{3} + \frac{2}{3} = \text{—}$

b) $\frac{3}{5} + \frac{7}{5} = \text{—}$

c) $\frac{5}{10} + \frac{2}{10} = \text{—}$

d) $\frac{11}{25} + \frac{12}{25} = \text{—}$

e) $\frac{9}{6} - \frac{3}{6} = \text{—}$

f) $\frac{7}{10} - \frac{3}{10} = \text{—}$

g) $\frac{12}{15} - \frac{1}{15} = \text{—}$

h) $\frac{3}{7} \times \frac{3}{7} = \text{—}$

i) $\frac{4}{8} \times \frac{5}{10} = \text{—}$

j) $\frac{7}{9} \times \frac{4}{6} = \text{—}$

k) $\frac{6}{9} \div \frac{2}{3} = \text{—}$

l) $\frac{3}{5} \div \frac{2}{5} = \text{—}$

m) $\frac{9}{15} \div \frac{2}{8} = \text{—}$

n) $\frac{6}{12} + \frac{3}{12} + \frac{1}{12} = \text{—}$

o) $\frac{8}{12} + \frac{3}{6} + \frac{6}{9} = \text{—}$

APÊNDICE C – LISTA DE INTERVENÇÕES TUTORIAIS

Este apêndice apresenta a lista completa com todas as intervenções tutoriais específicas que foram criadas para serem exibidas aos aprendizes durante a interação com o jogo de frações. Essas intervenções são apresentadas quando da escolha de um resultado errado para uma das operações de frações.

Tabela C.1: Lista de intervenções tutoriais desenvolvidas para serem apresentadas no jogo de frações.

Tipo / Subtipo Intervenção	OP	N	DS	D	Descrição
Dica / Apontar para	+	A	I	A	Veja que essa é uma operação de SOMA com DENOMINADORES IGUAIS.
Dica / Apontar para	X	A	N	A	Para as operação de MULTIPLICAÇÃO: Numerador com numerador e denominador com denominador.
Dica / Apontar para	+	A	D	A	Nas operações com denominadores diferentes deve-se usar um denominador comum para somar as frações.
Dica / Apontar para	-	A	I	A	Veja que essa é uma operação de SUBTRAÇÃO com DENOMINADORES IGUAIS.
Dica / Apontar para	-	A	D	A	Nas operações com denominadores diferentes deve-se usar um denominador comum para subtrair as frações.
Dica / Apontar para	:	A	N	A	Antes de selecionar a nova resposta procure lembrar como uma operação de divisão é resolvida.
Feedback / Conhecimento da resposta correta	+	A	I	A	Resposta INCORRETA. A resposta correta é . Pois nesta operação deve-se somar os numeradores e conservar os denominadores. Veja um exemplo: $2/4 + 1/4 = 3/4$.
Conhecimento da resposta correta	-	A	I	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta correta é . Pois nesta operação deve-se subtrair os numeradores e conservar os denominadores. Veja um exemplo: $2/4 - 1/4 = 1/4$.
Conhecimento da resposta correta	X	A	N	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta correta é . Pois nesta operação deve-se multiplicar um numerador pelo outro e um denominador pelo outro. Veja um exemplo: $2/4 \times 1/3 = 2/12$.
Conhecimento da resposta correta	:	A	N	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta correta é . Pois nas operações de DIVISÃO deve-se copiar a primeira fração e multiplicar pelo inverso da segunda fração. Em seguida multiplicar um numerador pelo outro e um denominador pelo outro. Veja um exemplo: $2/4 : 1/3 = 2/4 \times 3/1 = 6/4$
Corretivo	+	A	I	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta certa é . Nas operações de SOMA com DENOMINADORES IGUAIS deve-se somar os numeradores e manter os denominadores.
Corretivo	-	A	I	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta certa é . Nas operações de SUBTRAÇÃO com DENOMINADORES IGUAIS deve-se subtrair os numeradores (termos de cima) e conservar os denominadores (termos de baixo).

(continua)

Tabela C.1 (continuação da página anterior.)

Tipo / Subtipo Intervenção	OP	N	DS	D	Descrição
Corretivo	+	A	D	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta certa é . Nas operações de SOMA com DENOMINADORES DIFERENTES primeiro calcula-se o Mínimo Múltiplo Comum (MMC) entre os denominadores. O valor do MMC será o novo denominador da operação. Esse valor será dividido pelo denominador e multiplicado pelo numerador da primeira fração. Essa etapa deve ser executada para a segunda fração também. Em seguida basta realizar a soma de frações, que agora possuem denominadores iguais.
Corretivo	-	A	D	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta certa é . Nas operações de SUBTRAÇÃO com DENOMINADORES DIFERENTES primeiro calcula-se o Mínimo Múltiplo Comum (MMC) entre os denominadores. O valor do MMC será o novo denominador da operação. Esse valor será dividido pelo denominador e multiplicado pelo numerador da primeira fração. Essa etapa deve ser executada para a segunda fração também. Em seguida basta realizar a subtração de frações, que agora possuem denominadores iguais.
Corretivo	X	A	N	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta certa é . Nas operações de MULTIPLICAÇÃO de frações basta multiplicar o numerador de uma fração pelo numerador da outra fração, e multiplicar o denominador de uma pelo denominador da outra.
Corretivo	:	A	N	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta certa é . Nas operações de DIVISÃO deve-se seguir os seguintes passos: 1.º O numerador da primeira fração multiplica o denominador da segunda fração (numerador da resposta); 2.º O denominador da primeira fração multiplica o numerador da segunda fração (denominador da resposta).
Diagnostico	+	C	I	N	Resposta INCORRETA! O erro está no valor do DENOMINADOR. Na soma de frações com denominadores iguais basta repetir o denominador no resultado.
Diagnostico	+	N	I	C	Resposta INCORRETA! O erro está no valor do NUMERADOR Na soma de frações com denominadores iguais deve-se somar os numeradores.
Diagnostico	-	C	I	N	Resposta INCORRETA! O erro está no valor do DENOMINADOR. Na subtração de frações com denominadores iguais basta repetir o denominador no resultado.
Diagnostico	-	N	I	C	Resposta INCORRETA! O erro está no valor do NUMERADOR Na subtração de frações com denominadores iguais deve-se subtrair os numeradores.
Diagnostico	X	C	N	N	Resposta INCORRETA! O erro está no valor do DENOMINADOR. Na multiplicação de frações os denominadores também são multiplicados.
Diagnostico	X	N	N	C	Resposta INCORRETA! O erro está no valor do NUMERADOR. Na multiplicação de frações os numeradores também são multiplicados.
Diagnostico	:	C	N	N	Resposta INCORRETA! O erro está no valor do DENOMINADOR. Na divisão de frações deve-se multiplicar a primeira fração pelo inverso da segunda. Confira o valor da multiplicação dos denominadores.
Diagnostico	:	N	N	C	Resposta INCORRETA! O erro está no valor do NUMERADOR Na divisão de frações deve-se multiplicar a primeira fração pelo inverso da segunda. Confira o valor da multiplicação dos numeradores.

(continua)

Tabela C.1 (continuação da página anterior.)

Tipo / Subtipo Intervenção	OP	N	DS	D	Descrição
Explicativo	+	C	I	N	Resposta INCORRETA, pois o DENOMINADOR da resposta selecionada não é o correto. Veja que é uma operação de SOMA e que os DENOMINADORES são IGUAIS.
Explicativo	+	N	I	C	Sua resposta está INCORRETA, pois o valor do NUMERADOR não corresponde a soma correta dos mesmo. Já o valor do DENOMINADOR está certíssimo.Feche a caixa de mensagem e tente novamente!
Explicativo	+	C	D	N	O DENOMINADOR da sua resposta está INCORRETO. Na SOMA de frações com DENOMINADORES DIFERENTES é necessário encontrar o MMC entre esses denominadores. O valor do MMC será o novo denominador da operação. Lembre dos passos que devem ser realizados depois de encontrar o MMC e aplique na operação.
Explicativo	+	N	D	C	O NUMERADOR da resposta selecionada está INCORRETO. O valor do denominador está correto, o que indica, a princípio, que foi calculado o MMC para os denominadores da operação.Então o que falta é aplicar os passos seguintes para encontrar o valor do numerador. Lembre-se que o MMC deve ser calculado sempre que os denominadores de uma operações de SOMA ou SUBTRAÇÃO forem diferentes.
Explicativo	+	A	D	A	Resposta ERRADA! Na SOMA de frações com DENOMINADORES DIFERENTES é necessário encontrar o MMC entre esses denominadores (o valor encontrado será o novo denominador da operação). Lembre-se que os passos seguintes envolvem o valor do MMC encontrado, divisão e multiplicação.
Explicativo	-	C	I	N	Ops! Resposta ERRADA, pois o valor do DENOMINADOR da resposta não é o correto. Veja que a operação que você precisa resolver é uma SUBTRAÇÃO em que os DENOMINADORES são IGUAIS.
Explicativo	-	N	I	C	Sua resposta está INCORRETA, pois o valor do NUMERADOR da resposta não é o correto. Observe que é uma operação de SUBTRAÇÃO com DENOMINADORES IGUAIS.
Explicativo	X	C	N	N	Ops!! Verifiquei que você errou na multiplicação dos DENOMINADORES, por isso a sua resposta está ERRADA. Procure lembrar da regra utilizada para a MULTIPLICAÇÃO de frações.
Explicativo	X	N	N	C	O valor do NUMERADOR da resposta selecionada não está certo, por isso sua resposta está INCORRETA. Sugiro que você olhe com atenção para os valores dessa operação de MULTIPLICAÇÃO.
Explicativo	:	C	N	N	Resposta INCORRETA! O valor do DENOMINADOR precisa ser calculado novamente. Analise a operação e lembre-se que na DIVISÃO deve-se multiplicar a primeira fração pelo inverso da segunda.
Explicativo	:	N	N	C	INCORRETA! A regra para DIVISÃO de frações não foi realizada corretamente. Observa-se que o valor do DENOMINADOR está certo, já o do NUMERADOR não. Verifique novamente os valores e realize a operação.
Explicativo	:	A	N	A	Sua resposta está incorreta, lembre-se que na divisão deve-se multiplicar a primeira fração pelo inverso da segunda.
Explicativo	-	N	D	C	A resposta selecionada NÃO é a correta! O valor do NUMERADOR precisa ser calculado novamente. Analise novamente a operação de SUBTRAÇÃO e veja que os DENOMINADORES são DIFERENTES.

(continua)

Tabela C.1 (continuação da página anterior.)

Tipo / Subtipo Intervenção	OP	N	DS	D	Descrição
Explicativo	-	C	D	N	O DENOMINADOR da sua resposta está INCORRETO. Na SUBTRAÇÃO de frações com DENOMINADORES DIFERENTES é necessário encontrar o MMC entre esses denominadores. O valor do MMC será o novo denominador da operação. Lembre dos passos que devem ser realizados depois de encontrar o MMC e aplique na operação.
Explicativo	-	A	D	A	Resposta ERRADA! Na SUBTRAÇÃO de frações com DENOMINADORES DIFERENTES é necessário encontrar o MMC entre esses denominadores (o valor encontrado será o novo denominador da operação). Lembre-se que os passos seguintes envolvem o valor do MMC encontrado, divisão e multiplicação.
Feedback de meta ou de objetivo	Q	C	N	N	Sua resposta está quase certa, verifique com atenção o sinal da operação e o valor dos DENOMINADORES.
Feedback de meta ou de objetivo	Q	N	N	C	Sua resposta está quase certa, verifique com atenção o sinal da operação e o valor dos NUMERADORES.
Feedback de meta ou de objetivo	Q	C	N	N	O NUMERADOR da sua resposta está correto! Isso significa que está quase lá! Antes de selecionar outra resposta, sugiro verificar novamente o SINAL da operação e o valor dos DENOMINADORES.
Feedback de meta ou de objetivo	Q	N	N	C	O DENOMINADOR da sua resposta está correto! Então você está quase lá! Minha sugestão é que antes de selecionar outra resposta, você verifique o SINAL da operação e o valor dos NUMERADORES.
Informacao transmitida	Q	C	N	N	Observe o SINAL da operação e o valor dos numeradores e denominadores da operação.
Informacao transmitida	-	A	I	A	Nas operações de SUBTRAÇÃO com denominadores iguais deve-se subtrair um dos termos e repetir o outro.
Informacao transmitida	+	A	I	A	Nas operações de SOMA com denominadores iguais deve-se somar um dos termos e repetir o outro.
Informacao transmitida	-	A	I	A	Lembre-se que existe uma regra para a operação de SUBTRAÇÃO com DENOMINADORES IGUAIS.
Informacao transmitida	+	A	D	A	Na SOMA de frações com DENOMINADORES DIFERENTES é necessário encontrar em primeiro lugar o valor do Mínimo Múltiplo Comum (MMC).
Informacao transmitida	-	A	D	A	Na SUBTRAÇÃO com DENOMINADORES DIFERENTES é necessário encontrar o valor do Mínimo Múltiplo Comum (MMC).
Informacao transmitida	:	A	N	A	Veja que essa é uma operação de DIVISÃO, lembre-se que nesse caso uma das frações precisa ser invertida.
Informacao transmitida	X	A	N	A	Essa é uma operação de multiplicação de duas frações, multiplique os numeradores e multiplique os denominadores.
Linha direta de raciocínio	:	A	N	A	Nas operações de divisão entre duas frações quais são as etapas que precisam ser realizadas para chegar ao resultado?
Linha direta de raciocínio	:	A	N	A	Nas operações de DIVISÃO uma das fração se mantém e a outra é invertida.
Linha direta de raciocínio	+	A	I	A	Os denominadores são iguais ou diferentes? Lembre-se que essa informação define como resolver a operação de soma.
Linha direta de raciocínio	+	A	D	A	Os denominadores são iguais ou diferentes? Lembre-se que essa informação define como resolver a operação de soma.
Linha direta de raciocínio	-	A	I	A	Os denominadores são iguais ou diferentes? Lembre-se que essa informação define como resolver a operação de subtração.
Linha direta de raciocínio	-	A	D	A	Os denominadores são iguais ou diferentes? Lembre-se que essa informação define como resolver a operação de subtração.
Linha direta de raciocínio	X	A	N	A	Essa é uma operação de multiplicação entre duas frações. Qual regra aplicar para chegar ao resultado correto?

(continua)

Tabela C.1 (continuação da página anterior.)

Tipo / Subtipo Intervenção	OP	N	DS	D	Descrição
Resposta contingente	+	A	I	A	Sua resposta está ERRADA. A resposta certa é . Neste caso não foi aplicada corretamente a regra para SOMA de frações com DENOMINADORES IGUAIS.
Resposta contingente	-	A	I	A	Resposta ERRADA. A resposta certa é . Neste caso não foi aplicada corretamente a regra para SUBTRAÇÃO de frações com DENOMINADORES IGUAIS.
Resposta contingente	+	A	D	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta certa é . Não foi aplicada corretamente a regra para SOMA de frações com DENOMINADORES DIFERENTES. Neste caso é necessário encontrar outras frações equivalentes, isso pode ser feito calculando o Mínimo Múltiplo Comum (MMC).
Resposta contingente	-	A	D	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta certa é . Não foi aplicada corretamente a regra para SUBTRAÇÃO de frações com DENOMINADORES DIFERENTES. Neste caso é necessário encontrar outras frações equivalentes, isso pode ser feito calculando o Mínimo Múltiplo Comum (MMC).
Resposta contingente	X	A	N	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta certa é . Neste caso não foi aplicada corretamente a regra para MULTIPLICAÇÃO de frações. A multiplicação é feita multiplicando um numerador pelo outro e um denominador pelo outro.
Resposta contingente	:	A	N	A	Sua resposta está INCORRETA. A resposta certa é . Neste caso não foi aplicada corretamente a regra para DIVISÃO de frações. Na divisão entre duas frações deve-se multiplicar a primeira fração pelo inverso da segunda, ou seja, inverte-se o numerador e o denominador da segunda fração.

(conclusão)